



Escola de Camins
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

**Desarrollo de aplicaciones basadas
en tecnología web y móvil que
proporcionan información a los
usuarios de carril bici**

Treball realitzat per:

Olga López Martínez

Dirigit per:

Ignacio Valero López

Màster en:

Enginyeria de Camins, Canals i Ports

Barcelona, 30 de Juny de 2020

Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental

TREBALL FINAL DE MÀSTER

Agradecimientos

En primer lugar me gustaría agradecer este trabajo a mis tutores, que me han guiado y ayudado durante todos estos meses.

También a mi familia y amigos, por escucharme hablar durante horas sobre este proyecto y apoyarme en todo momento durante todos mis estudios; sin vosotros nada de esto habría sido posible.

Finalmente me gustaría agradecer a Gerard por ayudarme durante todos estos años e aportar ideas cuando yo estaba saturada, y a Nora y Norman por estar siempre a mi lado durante estos últimos meses.

Resumen

Actualmente las ciudades están preparadas para la circulación de vehículos motorizados. A pesar de la gran comodidad que supone utilizar estos métodos de transporte, comportan una gran serie de inconvenientes: contaminación acústica y ambiental, proclamación del espacio público, etc. Poco a poco, la población es cada vez más consciente de las consecuencias que comporta el uso del vehículo privado, y demandan alternativas a éste.

Siguiendo la línea por la que otros países se han decantado, este trabajo propone darles más importancia a las bicicletas en el ámbito del transporte urbano: es un vehículo barato, ocupa poco espacio, no contamina y favorece la forma física del usuario.

Sin embargo, a pesar de que su uso se está popularizando entre la sociedad española, el miedo a sufrir un accidente mientras se va en bicicleta es la razón principal por la cual la población rehúsa este medio de transporte. El objetivo principal de este trabajo es estudiar las razones tras este miedo, y proponer una solución para poder reducir la siniestralidad entre los ciclistas.

Tras estudiar los principales motivos de accidentabilidad entre ciclistas y estudiar las medidas de seguridad implementadas tanto en vehículos motorizados como en bicicletas, la opción que se decide desarrollar es una aplicación móvil que sea capaz de detectar cuando se produce un accidente y llame a emergencias. De forma complementaria, también mostrará en un mapa cuales son los “puntos negros” de los carriles bici, con tal de que los ciclistas circulen con más precaución por esas zonas.

Por último, ya que la aplicación recogería datos sobre la circulación de muchos usuarios a lo largo de múltiples carriles bici, se podría utilizar esta información para que ayuntamientos y otras instituciones responsables arreglasen problemas como baches, mala visibilidad, etc. y así evitar futuros accidentes en esas zonas.

Palabras clave: App para teléfono móvil, bicicleta, VRU

Abstract

Nowadays cities are designed to accustom motorized vehicles. Although these means of transportation brings great comfort for the user, they also bring a great deal of inconvenient: noise and environmental pollution, proclamation of public space, etc. Slowly but steadily, the population is getting more conscious of the consequences that the private vehicle entails, and start to demand alternatives.

Following the path taken by other countries, this project suggests giving more prominence to bicycles in the urban transportation ambit: it is an affordable vehicle, it does not occupy a lot of space, it does not pollute and last but not least, it benefits the health of the user.

Although its use is growing steadily in Spain, the fear to suffer any kind of accident while riding a bike is the main reason why the Spanish population refuses to use this mean of transport more often. The main objective of this project is to study the reasons behind these fears, and finally propose a solution to reduce the accident rate in cyclists.

After studying the main reasons behind the high accident rate in cyclists and the principal safety measures implemented (in both motorized vehicles and bikes), a phone app capable of detecting when an accident has happened is chosen as the solution to reduce the number of bicycle accidents. Apart from detecting when an accident has occurred, the app will also have a map where the accident blackspots are located so the users can be more careful around those areas.

Last but not least, as the app will be compiling a lot of data related to the circulation of the bike users along the bike lanes, this information could be provided to thee governmental institutions responsible for fixing those bicycle lanes so that they can fix the most prominent problems in them, thus reducing future bike accidents.

Key words: Phone app, bicycle, VRU

índice

Agradecimientos	I
Resumen	II
Abstract	III
Índice de figuras	VI
Índice de tablas	VII
Índice de gráficos.....	VIII
1. Introducción.....	1
Motivación personal	3
2. Objetivos	5
3. Estudio sobre el uso y accidentabilidad en las bicicletas	6
3.1. Uso de la bicicleta en España	6
3.2. Motivos tras la falta del uso generalizado de la bicicleta	10
3.3. Motivos de la accidentabilidad	16
3.3.1. Según las partes implicadas	16
3.3.2. Según el lugar	18
3.4. Principales conclusiones.....	19
4. Soluciones en la actualidad.....	20
4.1. Iniciativas para incentivar el uso de la bicicleta	20
4.1.1. Por parte de asociaciones ciclistas	20
4.1.2. Por parte de instituciones gubernamentales	22
4.2. Tecnologías para VRUs que existen actualmente	26
4.2.1. El vehículo conectado.....	26
4.3. Aplicaciones y casos de uso en la bicicleta	31
4.3.1. El casco inteligente	31
4.3.2. Bicicleta inteligente	33
4.4. Aplicaciones de móvil para ciclistas	35
4.5. Principales conclusiones.....	37
5. Aplicación móvil para reducir la siniestralidad.....	38
5.1. Proyecto Bici Sendas	38

5.1.1.	Aplicación móvil	40
5.1.2.	¿Por qué aplicación móvil?.....	40
5.2.	Problemas que aplacar.....	42
5.2.1.	Accidente propio	42
5.2.2.	Accidente múltiple	43
5.3.	Herramientas de los teléfonos móvil a nuestra disposición y requisitos de la aplicación móvil.....	48
5.3.1.	Sensores del teléfono móvil	48
5.3.2.	Requisitos	48
5.4.	Funciones de la app.....	51
5.4.1.	Información básica	51
5.4.2.	Detector de accidentes	54
5.4.3.	Mapa con información de interés para el usuario	59
5.4.4.	Información sobre el funcionamiento de la app.....	63
5.5.	Croquis visual inicial de la app	64
5.6.	Programación, montaje y diseño final de la app.....	66
5.6.1.	Información básica sobre la bicicleta y sus cuidados.....	66
5.6.2.	Detector de aceleración y giro del teléfono.....	68
5.6.3.	Actividad con el mapa	68
5.7.	Primeros resultados con la app.....	71
5.7.1.	Comprobación de funcionamiento básico	71
5.7.2.	Comprobación del correcto funcionamiento del mapa	71
5.7.3.	Detección de accidentes	71
6.	Vías abiertas y el futuro de la app	76
6.1.	Mejoras de la app.....	76
6.1.1.	Mejoras de las funciones actuales	76
6.1.2.	Introducción de nuevas funciones	76
6.2.	La prevención de accidentes a partir de los datos de la app	80
7.	Conclusiones	82
7.1.	Resultados	82
7.2.	Líneas para el futuro	83
	Bibliografía.....	84
	Anejo 1.....	88

Índice de figuras

Figura 1. Atasco en Madrid	1
Figura 2. Comparativa de una situación de tráfico típica en las ciudades y de la situación adoptada en las "superilles"	2
Figura 3. Porcentaje de la población española que utiliza la bicicleta	6
Figura 4. Porcentaje de uso de la bicicleta en distintas ciudades españolas	8
Figura 5. Bolardos colocados en el centro de un carril bici	17
Figura 6. Mapa de las rutas ciclistas en Europa	21
Figura 7. Mapa de las estaciones de Bicing repartidas por Barcelona	23
Figura 8. Persona guardando la bicicleta en una unidad de Bicibox.....	24
Figura 9. Unidad de e-Bicibox y las bicicletas que hay en su interior	25
Figura 10. Ejemplo de la conectividad V2X en la ciudad	28
Figura 11. Casco-airbag Hödving.....	32
Figura 12. Imagen de la revista FietsVerkeer nº37	33
Figura 13. Ejemplo de un carril de bicicleta del proyecto Bici Sendas	39
Figura 14. Carril bici bacheado a causa de las raíces de los árboles contiguos	43
Figura 15. Intersección de carriles bici en Delft, Holanda.....	44
Figura 16. Vista aérea de parque infantil y el carril bici.....	45
Figura 17. Parque infantil y carril bici rodeándolo	46
Figura 18. Carril bici en Diagonal, Barcelona.....	47
Figura 19. Disposición de los ejes en los sensores de los teléfonos móviles	49
Figura 20. Posición del teléfono móvil sobre el manillar de la bicicleta	49
Figura 21. Posición del teléfono móvil y ejes del sistema en la bicicleta.....	50
Figura 24. Mapa con localización del usuario (en azul) y punto negro (en rojo) marcado	59
Figura 25. Croquis con las principales pantallas de la aplicación.....	64
Figura 26. Menú sobre la información básica sobre el cuidado de la bicicleta	66
Figura 27. Información sobre como ajustar la altura del sillín	67
Figura 28. Información sobre como limpiar y engrasar la cadena	67
Figura 29. Información sobre cuando cambiar las cubiertas de las ruedas	67
Figura 30. Información sobre como y cuando hinchar las ruedas	67
Figura 31. Conversor de BAR a PSI y viceversa.....	68
Figura 32. Mapa con aviso de accidente	69
Figura 33. Pestaña de información sobre el funcionamiento de la app	70
Figura 34. Carril bici junto a una zona de aparcamiento en la calle	80

Índice de tablas

Tabla 1. Porcentaje de uso de la bicicleta en distintas comunidades autónomas.....	7
Tabla 2. Motivos principales de la población para no utilizar la bicicleta como método de transporte.....	10
Tabla 3. Motivos alegados para no utilizar la bicicleta	11
Tabla 4. Datos sobre las causas de accidentabilidad en ciclistas según la edad.....	16

Índice de gráficos

Gráfico 1. Crecimiento del uso de la bicicleta entre semana en España	7
Gráfico 2. Crecimiento del uso de la bicicleta de forma ocasional en España	7
Gráfico 3. Kilómetros de carril bici construidos en distintas ciudades españolas	8
Gráfico 4. Kilómetros de carril bici por kilómetro cuadrado	9
Gráfico 5. Datos sobre accidentes ocurridos en vías interurbanas.....	12
Gráfico 6. Datos sobre accidentes ocurridos en vías urbanas	13
Gráfico 7. Comparativa de ciclistas hospitalizados tras un accidente	13
Gráfico 8. Comparativa de ciclistas no hospitalizados tras un accidente	14
Gráfico 9. Comparativa de ciclistas fallecidos tras un accidente	14
Gráfico 10. Principales causas de la colisión de bicicletas en España	16
Gráfico 11. Lugares donde se producen los accidentes.....	18
Gráfico 12. Resultados sobre las aceleraciones experimentadas en circulación normal.	55
Gráfico 13. Resultados sobre la rotación experimentada en circulación normal	55
Gráfico 14. Datos sobre el cambio en el módulo de las aceleraciones durante paseos normales en bicicleta	56
Gráfico 15. Resultados sobre las aceleraciones y velocidades de rotación experimentadas durante un accidente	57
Gráfico 16. Datos sobre el giro (en cada eje) durante un paseo por la ciudad.....	89
Gráfico 17. Datos sobre la aceleración (en cada eje) durante un paseo por la ciudad	89
Gráfico 18. Datos sobre el giro (módulo) durante un paseo por la ciudad.....	90
Gráfico 19. Datos sobre la aceleración (módulo) durante un paseo por la ciudad	90
Gráfico 20. Datos sobre el giro (en cada eje) durante un paseo por una zona de tierra	91
Gráfico 21. Datos sobre la aceleración (en cada eje) durante un paseo por una zona de tierra	91
Gráfico 22. Datos sobre el giro (módulo) durante un paseo por una zona de tierra.....	92
Gráfico 23. Datos sobre la aceleración (módulo) durante un paseo por una zona de tierra	92
Gráfico 24. Datos sobre el giro (en cada eje) durante un paseo por una zona de grava	93
Gráfico 25. Datos sobre la aceleración (en cada eje) durante un paseo por una zona de grava	93
Gráfico 26. Datos sobre el giro (módulo) durante un paseo por una zona de grava.....	94
Gráfico 27. Datos sobre la aceleración (módulo) durante un paseo por una zona de grava	94
Gráfico 28. Datos sobre el giro (en cada eje) durante un paseo en zona mixta: calle y zona de tierra.....	95
Gráfico 29. Datos sobre la aceleración (en cada eje) durante un paseo en zona mixta: calle y zona de tierra	95
Gráfico 30. Datos sobre el giro (módulo) durante un paseo en zona mixta: calle y zona de tierra	96
Gráfico 31. Datos sobre la aceleración (módulo) durante un paseo en zona mixta: calle y zona de tierra.....	96

1. Introducción

A lo largo de la historia los gustos de la población han ido cambiando, y las ciudades se han adaptado a ellos. Se podría decir que uno de los cambios más significativos se produjo con la aparición de los coches: los pueblos y ciudades empezaron a expandirse, ya que ahora podíamos movernos en un radio más grande. Poco a poco este vehículo fue ganando importancia en nuestras vidas, hasta que finalmente empezaron a tener prioridad sobre las personas. Las calles empezaron a llenarse de coches, dejando a los peatones apartados en pequeñas aceras. Se empezaron a construir carreteras de 4, 5 o más carriles que pasan por el centro de las ciudades, justo delante de nuestras casas.

Al principio, el cambio más notorio que comportaba la aparición del vehículo privado era la pérdida de lugares en los que pasear y andar. Sin embargo, se decidió que era un pequeño precio que pagar a cambio de la mejora en la comodidad y, por encima de todo, ganar una autonomía individual total, ya que si se disponía de un vehículo privado no se dependía del transporte público o de ir a pie para trasladarse. El coche traía una serie de ventajas de todo tipo, y fue ganando la atracción de la gente de forma paulatina. A medida que el porcentaje de población que tenía vehículos privados crecía, empezaron a llegar una serie de consecuencias inevitables: los atascos en carreteras.



*Figura 1. Atasco en Madrid
(autor: Jesús C.M.)*

Al utilizar todos el coche para desplazarnos, sobre todo para ir a trabajar, crea conflicto en las carreteras. Y, a pesar de que perder cada día unos minutos extras parados en la carretera pueda suponernos un gran problema, no es ni de lejos la peor consecuencia de estos atascos. La constante y gran afluencia de coches conlleva una subida en los niveles de contaminación, tanto acústica como ambiental, que acaba afectando a los ciudadanos. De hecho, existen pruebas de que la contaminación ambiental agrava (y en algunos casos causa) asma [1], y potencia la aparición de alergias [2]. Por último, la gran cantidad de coches propicia que se produzcan accidentes de tráfico, ya bien sea por un choque entre varios vehículos o por el atropello de peatones en las ciudades y pueblos.

Según los informes de la Comisión Europea, los costes anuales derivados por los efectos de la congestión de carreteras suponen alrededor de un 1% del PIB anual en los países europeos [3]. De acuerdo con la Agencia Ambiental Europea (EEA) el principal responsable de la contaminación acústica es el tráfico por carretera [4], y según la Alianza de Sanidad Pública Europea los costes asociados a la contaminación ambiental producida por el tráfico de carreteras en Europa ascendía a 66,700 millones de euros en 2016 [5].

A medida que ha ido pasando el tiempo, la preocupación ciudadana por estos problemas ha ido en aumento, ya bien sea por la seguridad y derechos del peatón frente al vehículo privado o bien por la alta contaminación que producen los vehículos. En algunas ciudades como Ámsterdam, la

presión ciudadana hizo que se revirtiese la situación en el centro de la ciudad y las calles volviesen a ser para peatones y ciclistas.

En la actualidad, con la creciente preocupación por el cambio climático, la lucha por devolver las ciudades a los ciudadanos gana cada vez más fuerza. Sin embargo, esto plantea una nueva cuestión: ¿cómo se moverá la gente por las ciudades si no es con su coche? ¿Es suficiente la red de transporte público que hay en la actualidad? Esta es una de las principales cuestiones que las ciudades (tanto a nivel global como individual) intentan resolver hoy en día, ya que no se tiene exactamente la misma situación en cada una de ellas.

En Barcelona, por ejemplo, se ha apostado por la unión del tranvía de Barcelona por Diagonal, cediendo varios carriles de carretera a favor del transporte público. Otra medida que se ha ido implementando en pequeñas zonas y de forma más lenta son las “superilles”, unas zonas constituidas por varias manzanas de viviendas en las que se da prioridad a los peatones y al transporte sostenible en sus calles. El tráfico de vehículos motorizados está limitado, y se recupera el espacio de las carreteras para dedicarlo a actividades para peatones.

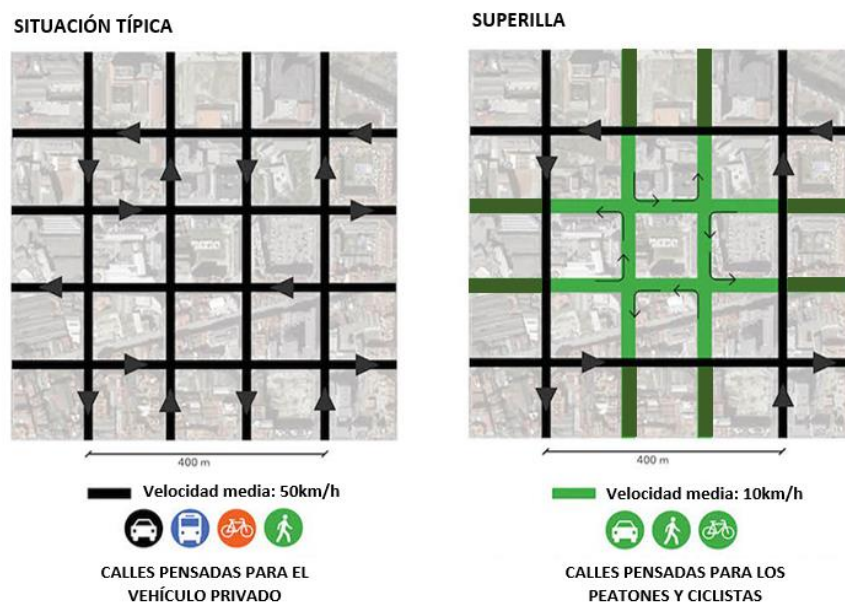


Figura 2. Comparativa de una situación de tráfico típica en las ciudades y de la situación adoptada en las "superilles"

Atendiendo a la necesidad actual de un transporte sostenible, el transporte público es una gran alternativa al vehículo privado. No obstante, el transporte público no cubre todas las necesidades de la población: por la noche su servicio es reducido o incluso inexistente, los horarios de paso son predeterminados y no siempre convenientes, hay sitios a los que no llega... el vehículo privado aplacaba todos estos problemas, pero con su desaparición (tal y como lo conocemos) hay que buscar una alternativa que los cubra.

En la actualidad, con tal de aplacar este problema, se está desarrollando el vehículo eléctrico. Al ser eléctrico no contamina las ciudades, sin embargo no soluciona el problema de la congestión. Así pues, a pesar de que es un avance respecto a la situación actual, está lejos de ser ideal.

Tal y como se ha comentado antes, Ámsterdam hizo este trámite años atrás; así pues, ¿cuál fue su solución? Podríamos fijarnos en su experiencia, e intentar adaptarla a nuestras ciudades. En este caso (al igual que en el resto de ciudades holandesas) el gran protagonista es bicicleta. De

hecho, el 36% de sus habitantes afirman que la bicicleta es su principal medio de transporte [6]. Es un vehículo que ocupa poco espacio, es barato, rápido y no contamina. Por otra parte lo pueden utilizar personas de todas las edades y por lo tanto no requiere dependencia, haciéndolo muy atractivo para niños, adolescentes y gente sin el carnet de conducir.

Tanto es el atractivo de este sencillo vehículo, que empieza a ganar popularidad en España. En el año 2019 un 22,4% de los ciudadanos españoles declararon utilizar la bicicleta como medio de transporte de forma regular. A pesar de que el valor es bajo comparado con el de otros países europeos, en el periodo comprendido entre 2008 y 2019 el uso de la bicicleta en España aumentó en poco más de un 77%, con previsión a seguir aumentando [7]. Con la aparición de alternativas eléctricas, cada vez se vuelve una opción más atractiva para los ciudadanos, ya que requiere menos esfuerzo físico hacerla funcionar, pero a la vez se puede ir mucho más rápido.

Sin embargo, a medida que el número de usuarios va en aumento, también lo hace el número de accidentados. La red de carriles bici no es completa en la mayoría de ciudades, y en otras muchas es prácticamente inexistente. También cabe destacar que parte de los carriles bici están colocados en zonas peligrosas, donde existe el riesgo de colisión con vehículos o peatones. Finalmente, en ocasiones los ciclistas se ven obligados a circular por la carretera con el resto de los vehículos motorizados, ya bien sea por la falta de carriles bici o por trayectos interurbanos.

Estas condiciones nombradas convierten a los ciclistas en usuarios vulnerables (*Vulnerable Road User* o VRU en inglés). Tal y como queda recogido en la directiva 2010/40/EU del Parlamento Europeo, se considera *Vulnerable Road User* a los usuarios no motorizados de carreteras, tales como peatones, ciclistas y personas con discapacidades o movilidad u orientación reducida [8]. Al compartir medio con los vehículos motorizados (los cuales van a una velocidad mucho más superior) los pone en una situación de peligro.

Motivación personal

Durante mi último curso de grado estuve de Erasmus en Delft, Holanda. Allí, al igual que en Ámsterdam, lo habitual es que la población se desplace en bicicleta.

Lo que más me gustó y sorprendió sobre la ciudad fue que, a pesar de tener 100.000 habitantes, fuese tan silenciosa. No se oía el ruido de los motores ni las ruedas al circular, tampoco el de las bocinas. Al dar prioridad a los ciclistas y peatones, pocos vehículos motorizados circulaban por las calles. De hecho, por la mayoría de las calles de la parte central estaba prohibido el acceso a los coches.

Esto venía acompañado de una mayor calidad de aire: a pesar de estar en una urbe, el aire era limpio. Recuerdo que, al volver a Barcelona para navidades, noté muchísimo el olor a contaminación en la ciudad.

Por último, la ciudad no contaba con muchos espacios para aparcar los coches, ya que la gran mayoría de la población prefiere utilizar la bicicleta en su día a día. En vez de tener parte de las calles ocupadas con los coches aparcados, había más espacio para poner vegetación y bancos. En lugar de tener grandes zonas de aparcamiento, había más parques y zonas comunes.

Tras estar viviendo un año en este nuevo entorno, en el cual mi calidad de vida era mejor gracias a estos pequeños detalles, se me hizo extraño volver a Barcelona y volver a experimentar el ruido, contaminación, atascos, etc. Viendo que en otros lugares han conseguido que el coche pase a un segundo plano de forma satisfactoria para todos, está claro que es una posibilidad para cualquier ciudad del mundo; con este trabajo mi objetivo es indagar un poco más en cómo hacer posible esta realidad en España, y así poder disfrutar de estas ventajas aquí también.

2. Objetivos

Tal y como se ha comentado en la introducción de este trabajo, la necesidad de encontrar un medio de transporte sostenible y alternativo al vehículo motorizado privado es cada vez mayor. Fijándonos en el caso de Holanda, la implementación de la bicicleta como modo de transporte aporta grandes beneficios a los ciudadanos, tanto si hablamos de contaminación como de espacio requerido para su circulación. A pesar de que su uso se populariza cada vez más en España, sigue sin ser uno de los modos predilectos entre los españoles. **El objetivo principal de este trabajo es proponer una solución para potenciar el uso de la bicicleta en España.**

Con tal de poder llevarlo a cabo, este objetivo se divide en diversos subobjetivos necesarios para poder llegar a unas conclusiones acertadas y que permitan adoptar una buena solución final.

Se empezará por estudiar en más profundidad cual es la situación actual de la bicicleta en España, haciendo hincapié en los motivos por los cuales la población española decide no utilizar este medio de transporte.

Una vez estudiados estos aspectos más generales, se analizarán las principales causas de la accidentabilidad entre ciclistas y que medidas se están adoptando actualmente para reducirla.

Con esta recopilación de información como base, se puede tomar una decisión sobre cuáles son las posibles medidas para aplacar este problema. Una vez escogida la solución a implementar, se desarrollará en profundidad.

3. Estudio sobre el uso y accidentabilidad en las bicicletas

En este apartado se estudiará en más profundidad cual ha sido la evolución del uso de las bicicletas como medio de transporte en España, y cuáles son los principales motivos que la población española alega para no utilizar este vehículo como método de transporte.

Por último, se hará un análisis sobre la relación entre el aumento del uso de la bicicleta y la accidentabilidad, y que impacto tiene esto en la población española.

3.1. Uso de la bicicleta en España

Como se ha mencionado anteriormente, el uso de la bicicleta ha ido en aumento en España estos últimos años. Con tal de estudiar como avanza el crecimiento de uso de este tipo de vehículo, cada 2 años la DGT (Dirección General de Tráfico) y la Red de Ciudades por la Bicicleta hace un estudio sobre su uso en España. Este estudio, conocido con el nombre de *Barómetro de la bicicleta en España*, recoge los datos obtenidos en más de 3200 entrevistas hechas a ciudadanos españoles repartidos por toda la región, a los cuales se les hace preguntas con tal de averiguar su opinión grado de uso del vehículo y conocimiento de la normativa respecto al mismo.

El barómetro más reciente data de finales de 2019, y es el que se utilizará como fuente de información para obtener datos sobre el uso de la bicicleta. Empezaremos por mirar cual es el porcentaje de la población que utiliza la bicicleta en su día a día, y con qué frecuencia la utilizan. En la figura 3 se puede observar (tanto de forma desglosada como general) cual es el porcentaje de uso de la bicicleta entre la sociedad española:

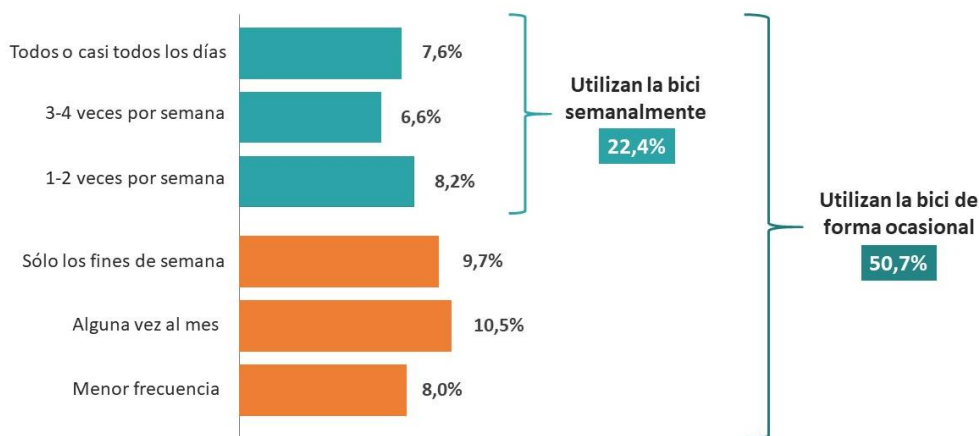


Figura 3. Porcentaje de la población española que utiliza la bicicleta [7]

En la figura 3 se puede apreciar que el 50,7% de la población española usa en mayor o menor medida la bicicleta a lo largo del año, destacando la porción de población (un 22,4% en total de

entrevistados) que utiliza la bicicleta cada semana. En los gráficos siguientes se puede apreciar la evolución del uso de la bicicleta a lo largo de los años en función del uso que le dan:

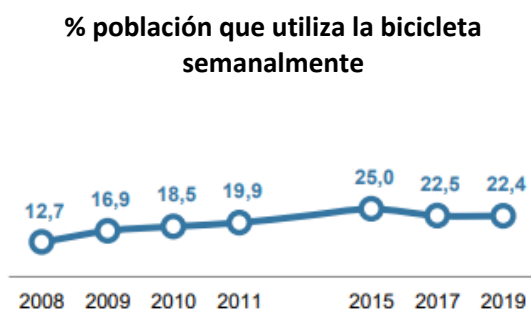


Gráfico 1. Crecimiento del uso de la bicicleta entre semana en España [7]

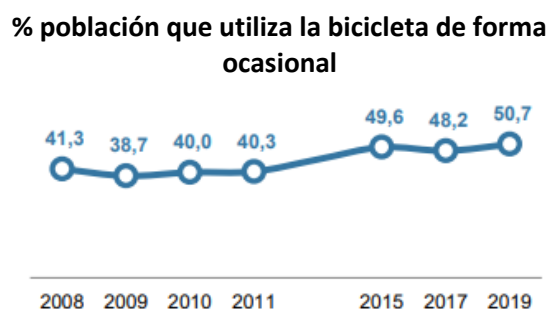


Gráfico 2. Crecimiento del uso de la bicicleta de forma ocasional en España [7]

Tal y como se puede observar en los gráficos anteriores, el crecimiento de uso de la bicicleta en los últimos años es paulatino, con previsión a que siga aumentando en el futuro. Estos datos son generales, refiriéndose a toda la población del territorio español. Con tal de estudiar en más profundidad estos datos, se procede a estudiar el uso de la bicicleta en cada una de las comunidades autónomas, con la intención de averiguar si hay una gran variación entre las mismas.

Ya que el número de entrevistados para el barómetro es relativamente bajo, hay comunidades autónomas de las cuales no se dispone de un banco de datos suficientemente alto como para que sea representativo de la población, y por lo tanto esos datos no son mostrados. En cuanto al resto de comunidades, sus datos se pueden encontrar en la siguiente tabla:

	Total (n=3205)	COMUNIDAD AUTÓNOMA								
		Andalucía (n=736)	Cataluña (n=506)	Madrid (n=372)	Com. Valenciana (n=424)	Castillas (n=232)	Galicia (n=142)	País Vasco (n=117)	Canarias (n=96)	Resto com. (n=580)
USUARIOS	50,6	51,4	49,7	48,0	49,8	57,5	43,8	54,4	41,4	53,9
Semanalmente	22,4	25,9	22,6	17,6	21,8	24,7	18,7	22,7	16,5	24,5
Sólo los fines de semana	9,7	8,9	10,4	11,3	9,8	11,9	8,8	5,1	8,9	9,1
Alguna vez al mes	10,5	8,7	9,7	10,3	10,2	9,5	8,4	17,1	9,6	13,5
Menor frecuencia	8,0	7,9	7,0	8,8	8,0	11,4	7,9	9,5	6,4	6,8
NO USUARIOS	49,3	48,7	50,2	52,1	50,1	42,5	56,1	45,5	58,4	46,1
Nunca o casi nunca	38,9	37,8	40,6	41,1	41,8	34,3	42,0	31,8	42,4	37,2
No sabe montar	10,4	10,9	9,6	11,0	8,3	8,2	14,1	13,7	16,0	8,9

Tabla 1. Porcentaje de uso de la bicicleta en distintas comunidades autónomas

Entre las comunidades autónomas incluidas en la tabla 1 destacan las 2 Castillas (Castilla y León y Castilla la Mancha), con un uso superior de la bicicleta (57,5%) comparado con la media en España, y Galicia y Canarias con un uso inferior (43,8% y 41,4% respectivamente). En las islas Canarias sobresale especialmente el dato de que el 16% de la población no sabe montar en bicicleta, comparado con el 10,4% de media en todo el territorio español.

Tal y como se puede observar, se empieza a denotar una diferencia importante entre el porcentaje de población que utiliza la bicicleta entre las distintas comunidades autónomas. Siguiendo con el estudio, iremos un paso más allá y miraremos cual es la situación concreta en

algunas de las ciudades más pobladas de España. De la misma forma que ocurre con las comunidades autónomas, el *Barómetro de la Bicicleta* tan sólo estudia las 6 ciudades más pobladas de España en el momento de publicación. En 2019 las ciudades estudiadas fueron las siguientes [9]:

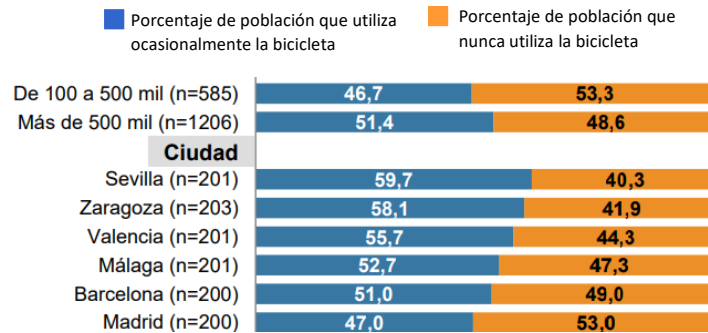


Figura 4. Porcentaje de uso de la bicicleta en distintas ciudades españolas

Se puede observar una clara diferencia entre las distintas ciudades, llegando a una discrepancia de uno de casi un 13% entre Madrid y Sevilla.

La disparidad de los resultados puede ser debida a una gran serie de causas, desde el número de carriles bici disponibles en cada ciudad, la disponibilidad de bicicletas propias y públicas, la orografía... Hay muchos factores que pueden contribuir a esta diferencia de porcentaje de uso entre las distintas ciudades estudiadas, no tiene por qué haber un solo responsable.

Con tal de intentar entender los motivos tras los diferentes porcentajes de uso, empezaremos por mirar cual es el número de kilómetros de carril bici construidos en cada una de estas ciudades, y así saber si el principal responsable de la falta de uso es la falta de infraestructuras. En el siguiente gráfico se puede apreciar cual es el número total de kilómetros de carril bici en cada una de las ciudades nombradas:

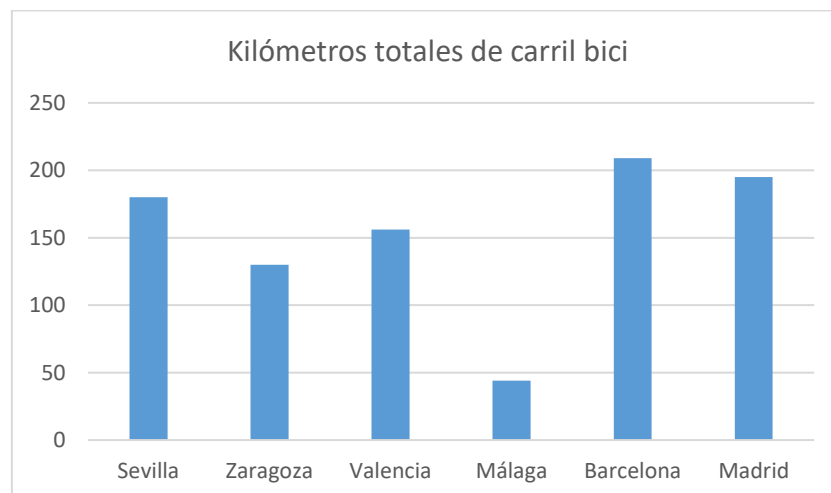


Gráfico 3. Kilómetros de carril bici construidos en distintas ciudades españolas [10]

En este caso se puede observar que la diferencia entre la cantidad de kilómetros de carril bici entre las ciudades no se corresponde con el porcentaje de uso de la bicicleta en las mismas. Sin embargo, este dato es poco representativo, ya que lo que nos interesa saber realmente es la

densidad de carriles bici que hay en cada ciudad. No es lo mismo decir que en un pueblo pequeño hay los mismos kilómetros de carril bici que en una ciudad grande: en el caso del pueblo pequeño, seguramente se podrá recorrer cada rincón yendo en carril bici, pero en el caso de la ciudad será muy insuficiente.

A partir de los valores del gráfico 3, se puede calcular cuantos kilómetros de carril bici hay por cada kilómetro cuadrado en cada una de las ciudades anteriores:

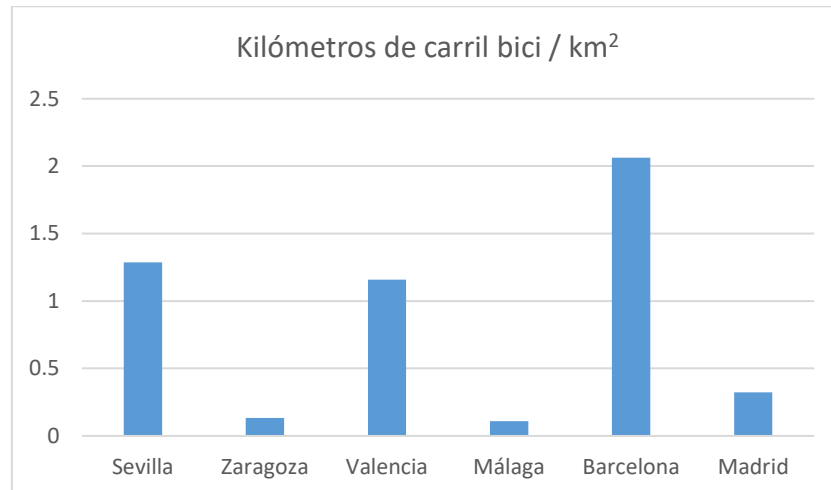


Gráfico 4. Kilómetros de carril bici por kilómetro cuadrado

De nuevo, los datos muestran que la relación entre el número de carriles bici y el porcentaje de uso entre la población no se corresponde; por lo tanto **debe haber otros motivos (distintos a la falta de infraestructuras disponibles) por los cuales la población decide no utilizar la bicicleta como medio de transporte.**

A continuación se estudiarán otros posibles motivos, de nuevo fijando como base los datos recopilados por el *barómetro de la bicicleta*.

3.2. Motivos tras la falta del uso generalizado de la bicicleta

A pesar del crecimiento del uso de la bicicleta entre la ciudadanía española, estos valores son mucho menores en comparación con los obtenidos otros países europeos. No hay una única causa que justifique este hecho, sino que es una suma de diferentes factores: puede ser la falta de bicicleta propia, no saber utilizarla, que el lugar de residencia tenga una orografía complicada... la lista es extensa, y los motivos pueden variar de un lugar a otro.

Este es otro de los aspectos objeto de estudio en el *barómetro de la bicicleta*, en el cual se pregunta a la población por sus motivos principales para no utilizar la bicicleta con más frecuencia. En la tabla 2 se puede ver los principales motivos registrados a lo largo de los últimos años, con tal de poder ver cuál es la tendencia y así poder averiguar cuáles son los principales responsables de la falta de uso de la bicicleta:

	2009	2010	2011	2015	2017
No tiene bicicleta / Estropeada	17,3	19,1	23,7	17,7	14,5
Prefiere coche u otros medios	11,4	7,4	11,9	10,7	13,7
Falta de tiempo	14,5	19,9	14,4	10,3	13,3
No le gusta/ No quiere	10,2	9,7	6,5	8,6	7,3
Prefiere caminar	5,7	3,0	5,3	11,1	7,1
Para las distancias que hace no la necesita	2,7	1,6	5,6	3,6	4,8
Prefiere otros deportes, actividades	3,1	1,5	2,8	3,9	2,6
Tiene niños pequeños	1,2	1,4	1,4	0,9	1,4
Problemas de salud	7,3	10,3	7,5	9,1	10,5
Falta de costumbre / Pereza	4,4	4,6	7,4	6,0	6,1
Demasiada edad / Falta forma física	4,9	10,2	5,6	6,0	6,0
La orografía no lo permite	2,0	5,1	4,1	5,2	3,3
No es cómodo. Cansa	2,4	2,1	3,9	2,8	3,3
Hace desplazamientos largos	1,2	0,3	0,9	2,0	2,3
Hay mucho tráfico, es peligroso	5,1	5,3	2,5	4,5	7,1
Municipio no adaptado	6,1	8,4	4,4	2,7	3,4
Le falta espacio para guardarla	1,3	4,8	3,8	1,6	2,8
Tiene miedo	1,7	2,3	1,7	4,9	2,4
No hay servicio de bicicleta pública	0,2	0,1			
Meteorología	1,7	0,6	1,8	0,7	1,2
Tuvo un accidente	0,3		1,4	0,6	0,6
Otros			2,3	3,3	4,7
Ninguno/Ns/Nc	2,9	2,8	2,1	1,1	1,1

Tabla 2. Motivos principales de la población para no utilizar la bicicleta como método de transporte [7]

Viendo los motivos principales para no escoger la bicicleta como transporte regular, cabe destacar que *municipio no adaptado* (marcado con el recuadro de color azul) deja de ser un motivo tan relevante a medida que pasan los años, ya que se van construyendo más carriles bici y por lo tanto facilita el uso de la bicicleta; esto concuerda con la comparativa hecha en el apartado 1.1.

Sin embargo, a pesar de que el aumento de carriles bici debería implicar una mayor seguridad para los usuarios, el porcentaje de gente que evita coger la bicicleta por miedo va en ligero aumento, sobre todo a causa del tráfico motorizado. Esto queda reflejado en los datos marcados con los recuadros de color naranja, en los que casi un 10% de la población alega que le parece peligroso a causa del tráfico y tiene miedo.

Los datos recogidos en la tabla 2 son los obtenidos a lo largo de todo el territorio español. Si miramos los motivos que la población de las 6 ciudades anteriormente mencionadas alega para no utilizar la bicicleta como medio de transporte, obtenemos los siguientes resultados:

	TOTAL (n=1463)	CIUDAD					
		Barcelona	Madrid	Valencia	Sevilla	Málaga	Zaragoza
		(n=83)	(n=97)	(n=87)	(n=65)	(n=96)	(n=90)
No tiene bicicleta / Estropeada	18,3	15,7	18,6	26,4	21,5	27,1	13,3
Prefiere coche u otros medios	15,6	18,1	12,4	16,1	10,8	10,4	15,6
Falta de tiempo	13,1	3,6	9,3	10,3	7,7	12,5	11,1
Prefiere caminar	8,6	9,6	8,2	10,3	10,8	5,2	7,8
No le gusta / No quiere	6,4	7,2	12,4	4,6	6,2	7,3	5,6
Para las distancias que hace no la necesita	4,7	7,2	2,1	3,4	7,7	5,2	7,8
Problemas de salud	8,3	3,6	4,1	13,8	9,2	9,4	11,1
Demasiada edad / Falta forma física	8,2	10,8	11,3	8,0	10,8	5,2	6,7
Falta de costumbre / Pereza	6,0	6,0	8,2	4,6	4,6	9,4	13,3
La orografía no lo permite	2,7	2,4			1,5	4,2	
Hace desplazamientos largos	2,5	2,4	3,1	3,4	7,7	2,1	5,6
No es cómodo/ Cansa	2,1	4,8	2,1	5,7	7,7	2,1	3,3
Hay mucho tráfico, es peligroso	6,3	24,1	11,3	5,7		10,4	8,9
Municipio no adaptado	2,7	1,2	2,1	3,4	1,5	5,2	2,2
Le falta espacio para guardarla	2,4	3,6	5,2	5,7	3,1	2,1	1,1
Tiene miedo	2,2	4,8	2,1		1,5	1,0	1,1
Otros	3,4	2,4	2,1	3,4		2,1	3,3
Ninguno/NS/NC	1,5	2,4	3,1	1,1			2,2

Tabla 3. Motivos alegados para no utilizar la bicicleta

Entre los motivos dados, destaca Barcelona en cuanto a la falta de seguridad que siente la población, con un 24,1% de los encuestados afirmando que ir en bicicleta es peligroso a causa del tráfico urbano. También llama la atención la falta de bicicletas propias en Valencia y Málaga, y el gran porcentaje de población en Madrid que no utiliza la bicicleta porque no le gusta.

A partir de estos resultados obtenidos, se pueden pensar en formas para solucionar cada uno de estos problemas. En la actualidad ya hay iniciativas que intentan poner solución a algunos de estos problemas, como por ejemplo los sistemas de alquiler público de bicicletas (como el *Bicing* en Barcelona), talleres de concienciación sobre los beneficios asociados a montar en bicicleta para que aumente su popularidad, la construcción de más carriles bici... las opciones son múltiples y diversas para atacar cada uno de los problemas alegados.

Sin embargo, el problema de la peligrosidad en los ciclistas (como se experimenta en Barcelona) no es tan sencillo de solucionar, ya que implica a muchos colectivos a la vez: a pesar de que os ciclistas son los principales afectados, requiere la colaboración y concienciación por parte del colectivo de vehículos motorizados. De la misma forma, también requiere ciertas reformas en las infraestructuras con tal de hacerlas más seguras hacia los ciclistas. Con tal de intentar entender el origen de este miedo y así poder intentar aplacarlo, a continuación se mostrarán los datos de accidentabilidad de ciclistas en los últimos años.

Los datos han sido obtenidos de la página web de la Dirección General de Tráfico [11], y se ha diferenciado entre los accidentes ocurridos en vías urbanas e interurbanas. Con la finalidad de entender mejor los datos que se exponen, previamente se incluye la definición de *accidente de*

tráfico, fallecidos, heridos hospitalizados y heridos no hospitalizados tal y como se describen en la página web de la DGT [11]:

- Se consideran *accidentes de tráfico* con víctimas los que se producen, o tienen su origen en una de las vías o terrenos objeto de la legislación sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial, cuentan con la implicación de al menos un vehículo en movimiento y a consecuencia de los mismos una o varias personas resultan muertas y/o heridas.
- Se considera *fallecido* toda persona que, como consecuencia de un accidente de tráfico, fallece en el acto o dentro de los siguientes treinta días.
- Se considera *herido hospitalizado* a cualquier herido con hospitalización superior a veinticuatro horas. Se excluyen las personas fallecidas en los 30 días posteriores al accidente.
- Se considera *herido no hospitalizado* a cualquier herido con asistencia sanitaria igual o inferior a veinticuatro horas.

Una vez definidos todos los parámetros, en los gráficos 5 y 6 se exponen los datos de accidentabilidad obtenidos entre 2009 y 2018 (ambos años incluidos) diferenciados según si han ocurrido en vías urbanas o interurbanas.

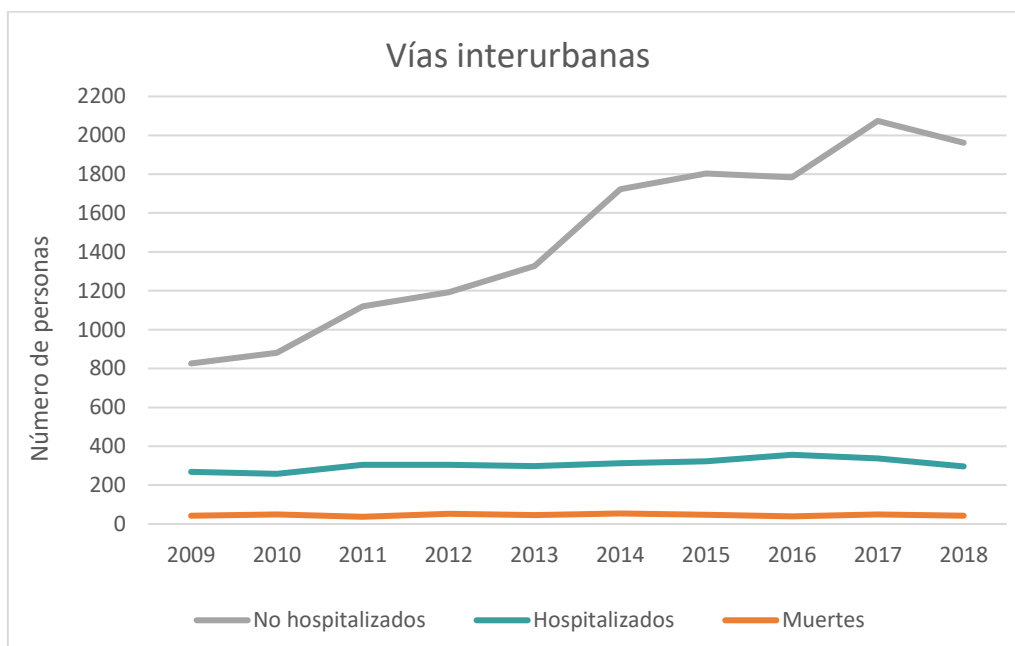


Gráfico 5. Datos sobre accidentes ocurridos en vías interurbanas

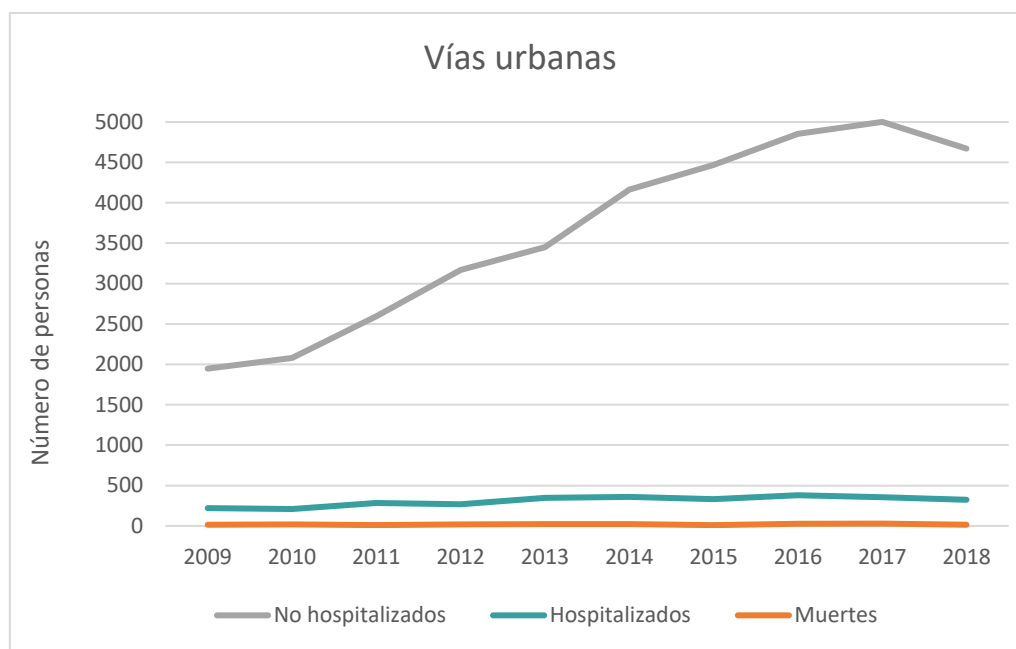


Gráfico 6. Datos sobre accidentes ocurridos en vías urbanas

Ya que el número de víctimas no hospitalizadas es muy superior al de víctimas hospitalizadas y fallecidas, en los gráficos anteriores no se puede apreciar con claridad la evolución del número de víctimas hospitalizadas y fallecidas a lo largo de los años. Así pues, a continuación se muestran los valores desglosados según el tipo de víctima en los accidentes de tráfico:

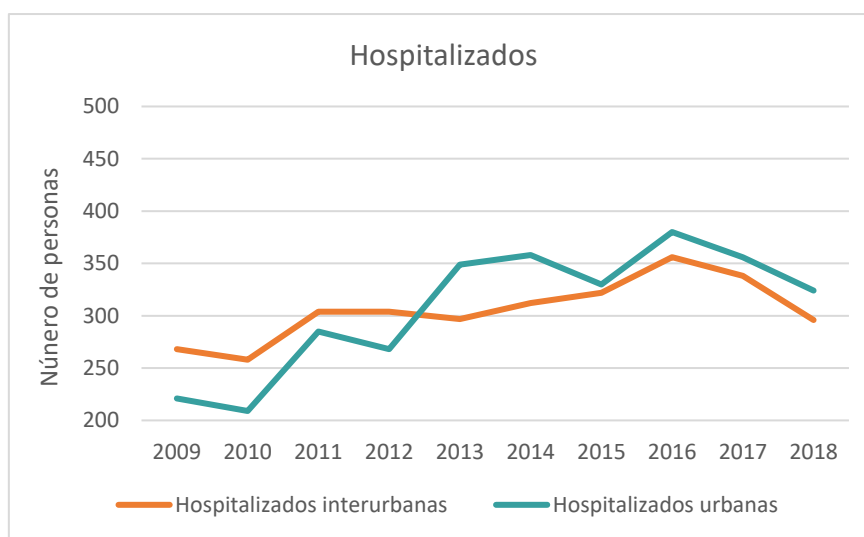


Gráfico 7. Comparativa de ciclistas hospitalizados tras un accidente

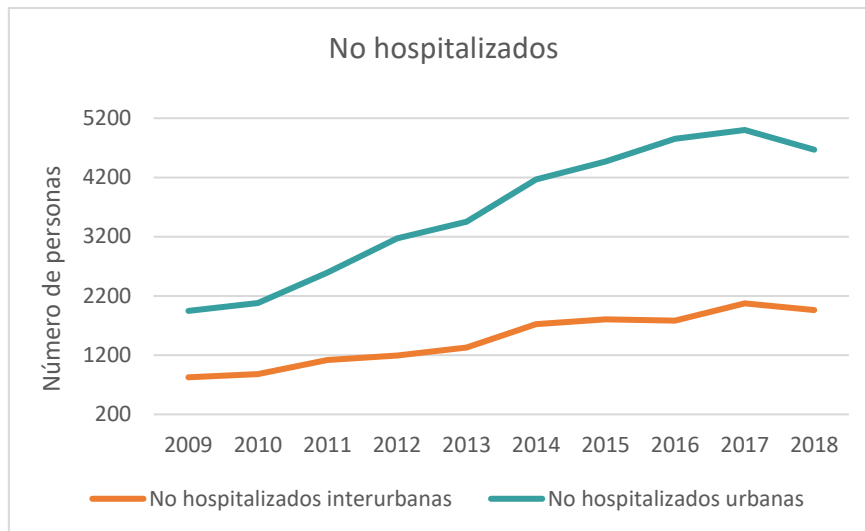


Gráfico 8. Comparativa de ciclistas no hospitalizados tras un accidente

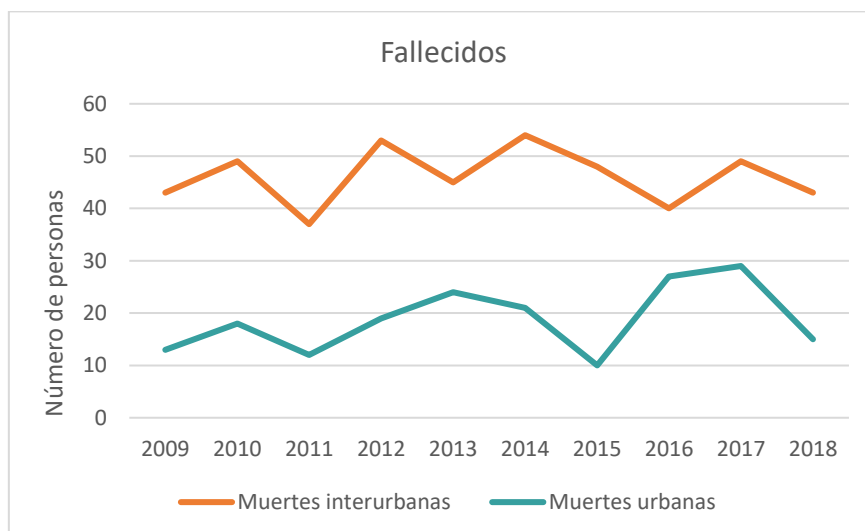


Gráfico 9. Comparativa de ciclistas fallecidos tras un accidente

Según los datos del estudio representados por los gráficos, se puede observar como el número de accidentados que han necesitado hospitalización y los que no la han necesitado ha ido en aumento, mientras que el número de fallecidos se ha mantenido estable. Teniendo en cuenta que el número de usuarios de la bicicleta ha crecido y que el número de muertes no lo ha hecho, implica que **cada vez hay menos porcentaje de muertes en caso de accidente entre los ciclistas**.

A pesar de esto, **el número de accidentados ha ido también en aumento**, tanto en el caso de las vías urbanas y las interurbanas. De hecho, **el 16,2% de los ciclistas entrevistados ha tenido uno o más accidentes de tráfico en los últimos 5 años** [7].

Esto puede venir dado por una reducción en el tiempo de actuación de las ambulancias, ya que en este tipo de accidentes la rapidez con la que se atiende a las víctimas es vital para garantizar su supervivencia.

A pesar de que es un buen indicativo la reducción en el número de fallecidos, que no haya un descenso en el número de víctimas mortales es preocupante. A pesar de que estas personas consigan salir con vida del accidente, puede que éste les deje secuelas de por vida, como puede ser algún tipo de invalidez física o mental. En casos menos extremos, puede implicar un largo tiempo de recuperación a causa de la rotura de algún miembro.

Teniendo en cuenta estos datos, se nos viene a la cabeza la pregunta acerca de los motivos y las causas del alto número de ciclistas accidentados. Aunque es interesante tener los datos sobre el número de accidentes y muertes en ciclistas, convendría estudiar a fondo cuales son las principales causas de la accidentabilidad, como se producen y quienes son las partes implicadas. De esta forma, una vez conocidas las principales causas tras la alta accidentabilidad en ciclistas, se pueden plantear distintas medidas para reducirlos o solucionarlos por completo.

3.3. Motivos de la accidentabilidad

Con tal de poner un poco de orden entre todos los datos disponibles e intentar sacar el máximo número de conclusiones, se estudiarán los motivos de la accidentabilidad en ciclistas según una serie de distintos parámetros. Primero se estudiará cuales suelen ser las partes implicadas en los accidentes de ciclistas (que porcentaje de accidentes ocurren a causa de los choques con vehículos motorizados, contra peatones, etc.) y después se estudiarán los lugares en los que ocurren dichos accidentes.

3.3.1. Según las partes implicadas

En este apartado se mirará a fondo cuales son las partes implicadas en los accidentes con ciclistas, mirando que combinaciones suelen ser las que producen el mayor número de accidentes. Utilizando de nuevo los datos del *Barómetro de la bicicleta*, a la pregunta de “¿Cómo se produjo el accidente?” los ciclistas españoles dieron las siguientes respuestas:

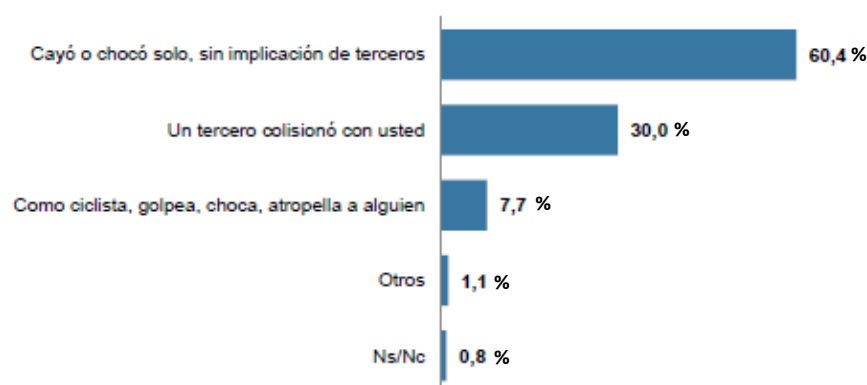


Gráfico 10. Principales causas de la colisión de bicicletas en España [7]

Tal y como muestra el gráfico 9, la gran mayoría de accidentes se producen por error propio y no colisionando con otro usuario (ya bien sea peatón, ciclista, vehículo motorizado...). Esto es especialmente sorprendente ya que la población española muestra mucho temor hacia la interacción con los vehículos motorizados, pero no han mostrado ninguna preocupación en cuanto a tener un accidente por causa propia. Cabe destacar que la proporción de las causas nombradas varía con la edad del ciclista, siendo el error propio la única causa de accidentabilidad en personas de 70 años o más:

	TOTAL	SEXO		EDAD				
		Hombre	Mujer	12-24	25-39	40-54	55-69	70-79
	(n=263)	(n=191)	(n=72)	(n=72)	(n=77)	(n=77)	(n=31)	(n=6)
Cayó o chocó solo, sin implicación de terceros	60,4	63,3	52,1	48,5	61,5	66,6	65,7	100,0
Un tercero colisionó con usted	30,0	27,3	37,9	42,0	26,3	21,8	33,0	
Como ciclista, golpea, choca, atropella a alguien	7,7	8,5	5,2	8,8	5,5	11,6	1,3	
Otras situaciones	1,1	0,7	2,4		4,2			
NS/NC	0,8	0,3	2,4	0,7	2,4			

Tabla 4. Datos sobre las causas de accidentabilidad en ciclistas según la edad [7]

Esto se puede deber a que los reflejos, equilibrio y vista se van perdiendo con la edad, facilitando las caídas y choques con objetos. También es atribuible a que la gente joven es más temeraria y por lo tanto el choque con terceros es más probable que en la gente de una edad más avanzada.

Con tal de hilar más fino y encontrar los motivos concretos, Schepers et al. [12] condujeron una encuesta masiva en Holanda a los ciclistas hospitalizados por accidentes que no involucraron a terceras personas. La pregunta principal que se les hizo fue ¿Cuál ha sido el motivo de su accidente?, y las respuestas (ordenadas por ocurrencia) fueron las siguientes:

- Resbalarse a causa de gravilla, arena, agua... sobre la superficie del carril
- Colisión con algún objeto del carril (bolardos)
- Frenada brusca y posterior caída
- Pérdida de control a causa de un bache en el carril
- Fallo en los frenos: mal mantenimiento
- Rueda patina al girar a causa de estar muy deshinchada
- Cadena se sale del sitio

Tal y como se puede observar, las razones tras todos estos motivos son el despiste propio y la falta de cuidados básicos en la bicicleta propia. En el caso de resbalarse con gravilla o colisionar con un bolar, entra en juego el estado descuidado del carril. En la figura 5 se puede observar un carril que tenía bolardos rígidos colocados justo en el centro, y produjo múltiples incidentes entre los usuarios del carril:



Figura 5. Bolardos colocados en el centro de un carril bici [13]

En cuanto al resto de accidentes (en los que se producen choques entre bicicletas y algún vehículo o peatón), la mayoría son causados por el atropello del ciclista por un vehículo motorizado. En un estudio reciente hecho por Useche et al. [14] exploraron las causas más comunes tras los accidentes de tráfico en el que se ven involucrados ciclistas indica que los errores humanos y el estado de la infraestructura son los principales causantes de los accidentes.

Más concretamente, el estudio habla de la falta de una correcta interacción entre los ciclistas y los vehículos que les rodean (ya sea entre los mismos ciclistas u otros vehículos motorizados). Despistes a la hora de girar o adelantar, los ángulos muertos y la falta de atención son las principales causas de los accidentes que involucran a 2 o más personas.

3.3.2. Según el lugar

Finalmente, ahora se pasará a estudiar la incidencia de los accidentes en ciclistas según el lugar donde se han producido. De nuevo, los datos extraídos forman parte de los disponibles en el *Barómetro de la bicicleta*:

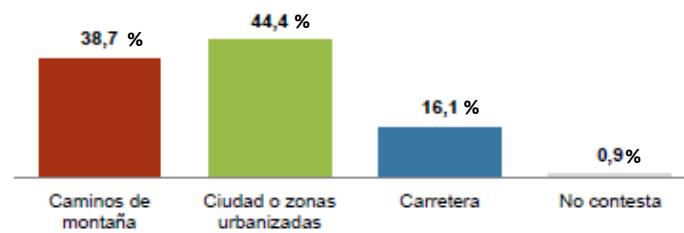


Gráfico 11. Lugares donde se producen los accidentes

La mayoría de los accidentes se dan en ciudades o zonas urbanizadas, seguidos muy de cerca por los accidentes producidos en caminos de montaña. Sin embargo, estos datos por si solos no son representativos, ya que sin conocer cuál es la densidad de tráfico en cada uno de estos escenarios no se puede llegar a ninguna conclusión.

Ya que según los datos del barómetro los usuarios de bicicleta se dividen en una proporción aproximadamente igual entre los que la utilizan en ciudad y los que la utilizan en montaña, se nota una mayor proporción de accidentes en las ciudades. Esto podría ser debido a la mayor cantidad de estímulos que hay: por un lado el número de ciudadanos a pie es mucho mayor del que se puedan encontrar por la montaña, al igual que el número de coches con el que se pueda coincidir. Por último, también hay más objetos con los que el usuario se pueda chocar, como por ejemplo bolardos, postes, lámparas, etc.

3.4. Principales conclusiones

Según hemos visto hasta el momento el número de usuarios de la bicicleta en España va en aumento a una velocidad considerable, y a pesar de los esfuerzos por bajar la siniestralidad ligada a este vehículo, el número de accidentados no decrece.

Los ciudadanos españoles declaran que una de las principales razones por las que no utilizan la bicicleta es por miedo al tráfico de vehículos motorizados, sin embargo los datos demuestran que **la mayoría de ciclistas accidentados son por causas propias y no por choques con terceros**.

Por supuesto, las consecuencias del accidente no son las mismas si el choque se ha producido entre dos o más bicicletas o si hay un coche involucrado. La colisión con un vehículo será a mayor velocidad que la colisión con otra bicicleta o a causa de una simple caída, y por lo tanto hay más riesgo de siniestralidad.

Según los datos del estudio hecho por Useche et al. [14] **los errores humanos y el estado de la infraestructura son los principales causantes de los accidentes**. El mal estado de la infraestructura no sólo afecta de forma directa a la accidentabilidad, sino que en ocasiones obliga a los ciclistas a compartir la carretera con los vehículos motorizados, que al circular a una mayor velocidad y no tener una visión periférica completa no siempre ven a los ciclistas, propiciando accidentes de mayor riesgo para el ciclista.

Así pues, con tal de reducir la siniestralidad en los ciclistas, hay varios aspectos a abordar:

- Concienciación sobre el uso responsable de la bicicleta, con tal de que los ciclistas presten más atención a su entorno
- Mejorar el estado de los carriles bici (arreglar baches, ampliar la red de carriles, etc)
- Concienciar a conductores de vehículos motorizados

Además de la preocupación de los ciudadanos en cuanto a la siniestralidad, hay otros factores que también contribuyen al bajo uso de la bicicleta, como por ejemplo:

- La preocupación por el robo de las bicicletas al dejarlas en la calle
- No saber montar en bicicleta
- No disponer de bicicleta propia

Teniendo en cuenta esta serie de impedimentos, interesa tomar una serie de soluciones distintas para poder aplacar cada uno de ellos y así potenciar el uso de la bicicleta en la ciudadanía.

4. Soluciones en la actualidad

Tal y como se puede observar, la situación en cuanto a la seguridad vial para ciclistas es bastante precaria. A pesar de que cada vez la concienciación es mayor entre la población, el porcentaje de accidentes y sobre todo la gravedad de los mismos es una de las principales causas de que la población opte por no utilizar este medio de transporte. Sin embargo, también hay otros motivos por los cuales la gente no utiliza la bicicleta: falta de bicicleta propia o miedo a que se la roben en la calle, la falta de una red continua de carriles bici o incluso no saber montar en bicicleta.

Con tal de poner solución a los problemas nombrados, una serie de iniciativas y soluciones de todo tipo han ido surgiendo por todo el mundo. A continuación se hará un estudio sobre algunas de estas soluciones que se están implementando para mejorar la siniestralidad de los ciclistas, concienciar más sobre los beneficios de la bicicleta y potenciar su uso tanto en el territorio español como a un nivel más global.

4.1. Iniciativas para incentivar el uso de la bicicleta

En la actualidad hay muchas iniciativas cuyo objetivo es mejorar y potenciar el uso de la bicicleta entre la población, desde niveles más básicos como por ejemplo colegios que organizan excursiones en bicicleta para sus alumnos hasta asociaciones a nivel europeo que organizan rutas por todo el territorio.

Ya que el número de propuestas es tan extenso, a continuación se nombrarán algunas de las iniciativas más notables y con mayor impacto en la actualidad, tanto a nivel estatal y como a nivel europeo. Se dividirán entre las hechas por asociaciones de ciclistas y las implementadas por instituciones gubernamentales en su ámbito de actuación.

4.1.1. Por parte de asociaciones ciclistas

A medida que el uso de la bicicleta se ha ido popularizando y extendiendo, han surgido una serie de asociaciones y organizaciones cuyo objetivo principal es concienciar a la población sobre los beneficios de la bicicleta y potenciar aún más su uso. En este apartado repasaremos algunas de estas asociaciones a nivel europeo y español, y estudiaremos cuales son las iniciativas que impulsan cada una de ellas.

- **Federación Europea de Ciclistas (ECF)**

La Federación Europea de Ciclistas fue fundada en 1983 con el objetivo de fomentar el uso responsable y seguro de la bicicleta por toda Europa. Actualmente está formada por 81 organizaciones ciclistas de 45 países de todo el mundo [15].

Uno de los proyectos más destacables de la ECF es el proyecto EuroVelo, una red de 16 rutas distintas que recorren Europa sumando más de 45000km de carril bici adaptado para cada recorrido.

El mapa con las distintas rutas se puede observar en la figura 6, cada una marcada con un color distinto para poder diferenciarlas.

Esta red de carriles cumple una serie de condiciones seguridad para asegurar la comodidad de los usuarios y así potenciar su uso, como por ejemplo no tener pendientes superiores al 6%, que esté pavimentada al menos en un 80% de su longitud y que no circulen más de 1000 vehículos motorizados diarios en los tramos de carretera [16].



Figura 6. Mapa de las rutas ciclistas en Europa

Con esta iniciativa la ECF busca cumplir los siguientes objetivos:

- Promocionar el uso de la bicicleta de forma responsable y segura
- Tener una gran red de carriles estandarizados por toda Europa
- Conseguir que la gente viaje por Europa en bicicleta en vez de otros medios de transporte, viajando así de forma sostenible

- Red de Ciudades por la Bicicleta (RCxB)

Asociación compuesta por entidades españolas que tiene como objetivo facilitar y hacer más segura la circulación de ciclistas por las ciudades de España.

Esta asociación son los responsables (junto con la DGT y la Federación Española de Municipios y provincias) de presentar cada 2 años el *barómetro de la bicicleta*, un estudio sobre el uso de este vehículo en España y del cual hablamos en la primera parte de este trabajo. Este estudio sirve como referente para seguir tomando iniciativas para fomentar el uso de la bicicleta e intentar mejorar ciertos aspectos relacionados con su uso [17].

Además de trabajar en el barómetro de la bicicleta, RCxB también organiza congresos y trabaja conjuntamente con otras asociaciones y organizaciones para crear iniciativas para incentivar el uso de la bicicleta. Entre ellas, destacan las siguientes:

- BiciRegistro

Sistema gratuito de registro de bicicletas en España, que asigna un código único de identificación y en caso de robo o pérdida facilita encontrar la bicicleta y devolverla al dueño/a [18].

Con este proyecto se pretende reducir el miedo que tiene la gente a que le roben la bicicleta al dejarla aparcada en la calle (el 21,3% de los españoles consideran que es el principal inconveniente [7]) y así potenciar su uso.

- **Intermodalidad ferrocarril-bicicleta**

A principios de 2020 han acordado con ADIF una serie de políticas para potenciar la intermodalidad ferrocarril-bicicleta, con tal de luchar contra medios de transporte más contaminantes y mejorar la salud de la población.

Entre las medidas que se han comprometido a implementar destacan la implementación de infraestructuras de aparcamiento seguros y los servicios de préstamo de bicicletas en las estaciones de tren.

- **Bicicleta Club de Catalunya (BACC)**

Asociación catalana fundada en 2001 por usuarios de bicicleta que buscaban mejorar la vida de la población mediante el uso de la bicicleta [19]. Con tal de promover el uso de este vehículo entre toda la población de Cataluña, el BACC tiene una serie de iniciativas de todo tipo:

- **Biciescola**

Cursos para aprender a ir en bicicleta para niños y adultos, tanto si no saben ir en bicicleta como si ya tienen una cierta experiencia. Con esta iniciativa se busca conseguir que el mayor número posible de la población sepa ir en bicicleta, y que los usuarios tengan más confianza al circular por la ciudad.

- **Bicifeina**

Servicio para la administración pública y empresas de Cataluña el cual ofrece una flota de bicicletas y una pequeña formación para los trabajadores con tal de que hagan los trayectos de casa al trabajo y viceversa en bicicleta. También se encarga de la instalación de zonas de aparcamiento en caso de que no las haya, e imparte cursos de seguridad viaria.

- **Educabici**

Proyecto dirigido a los centros de educación primaria y secundaria con tal de que éstos promuevan un mayor uso de la bicicleta entre sus alumnos, siempre de forma segura. Se da un apoyo al centro educativo para que haga actividades lúdicas con bicicletas, y se dé a conocer esta forma de transporte sostenible a los alumnos.

4.1.2. Por parte de instituciones gubernamentales

Además de las asociaciones, los ayuntamientos y gobiernos también toman iniciativas para potenciar el uso de la bicicleta en su zona de actuación. Teniendo en cuenta su poder adquisitivo, sus iniciativas suelen ser más directas y tener más impacto en la población. A continuación se explicarán dos proyectos llevados a cabo en Barcelona y su área metropolitana, pero que son muy similares a otros impuestos en otras partes del mundo.

- Bicing

Red de bicicletas para uso público distribuidas por la ciudad de Barcelona. El servicio empezó en 2007, ya causa de su éxito se han ido ampliando el número de bicicletas y estaciones disponibles, haciendo también el salto hacia la bicicleta eléctrica. Actualmente cuenta con 519 estaciones, de las cuales 97 han sido colocadas a principios de 2020 [20]:

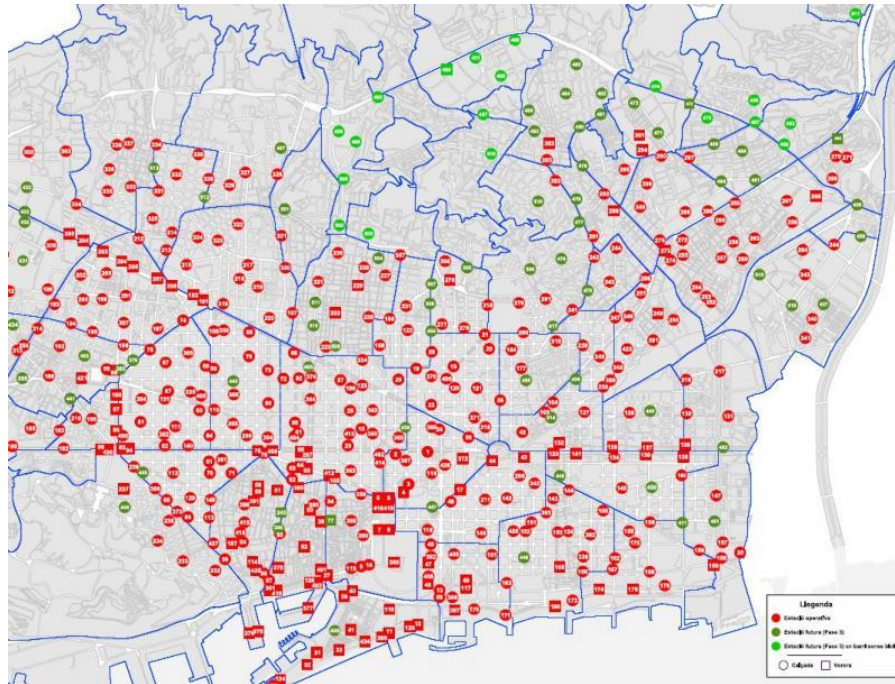


Figura 7. Mapa de las estaciones de Bicing repartidas por Barcelona [20]

En la figura anterior se pueden observar las estaciones de Bicing distribuidas por Barcelona; en color rojo están marcadas las colocadas hasta 2019 y en color verde las nuevas colocadas a principios de 2020.

La red actual cuenta con 6000 bicicletas mecánicas y 1000 eléctricas, con previsión a aumentar el número de las últimas. Por 50€ al año, se permite utilizar las bicicletas mecánicas de forma gratuita durante los 30 primeros minutos, y por 0.35 céntimos las bicicletas eléctricas. A partir de esa primera media hora, se aplica una tarifa por horas según el tipo de bicicleta.

- Bicibox

Tal y como indican en su página web [21], es una red de aparcamientos cerrados, públicos y gratuitos para bicicletas privadas. Los aparcamientos están distribuidos por los municipios que conforman el área metropolitana de Barcelona.

Los aparcamientos están disponibles todos los días del año, 24h al día. La bicicleta se puede dejar un máximo de 48h entre semana, y 72h los fines de semana.

- e-Bicibox

A principios de 2019 se lanza el servicio e-Bicibox, que sigue el mismo modelo que el bicibox convencional pero en vez de poder guardar tu bicicleta en el aparcamiento, dentro hay bicicletas eléctricas de uso público.

El abono anual son 30€, con el que se permite acceder a la red de bicicletas eléctricas y usarlas de forma gratuita en trayectos de menos de 30 minutos. Pasada la primera media hora, hay establecido un precio por hora según el tiempo de uso.

Con esta iniciativa se busca aplacar principalmente el miedo a el robo de la bicicleta privada que tienen un alto porcentaje de la población española, y así potenciar el uso de este vehículo sostenible. Con la introducción del e-Bicing, también se intenta solucionar el problema de muchos españoles que no tienen bicicleta propia. Además, al ser eléctrica, también atrae a los ciudadanos que alegan no usar la bicicleta por el esfuerzo físico que requiere.

Por último, estos aparcamientos suelen estar colocados cerca de otros medios de transporte públicos, con tal de potenciar la intermodalidad entre ellos y potenciar la movilidad sostenible.

En las siguientes imágenes se puede observar una estación de aparcamiento Bicibox y otra e-Bicibox. En la primera figura (figura 8) se puede observar a un ciudadano guardando su bicicleta en uno de los compartimentos de una unidad de Bicibox; en la figura 9 se muestra una unidad de e-Bicibox con sus compartimentos abiertos, mostrando las bicicletas eléctricas que se guardan en su interior.



Figura 8. Persona guardando la bicicleta en una unidad de Bicibox [21]



Figura 9. Unidad de e-Bicibox y las bicicletas que hay en su interior [22]

4.2. Tecnologías para VRUs que existen actualmente

A pesar de que las iniciativas que hemos visto en el apartado anterior obtienen buenos resultados, el cambio que producen es lento y en la mayoría de casos no están pensadas con el objetivo de reducir el miedo y que la gente se sienta más segura al montar en bicicleta. Esto se debe a que las bicicletas siguen teniendo poca visibilidad frente a los vehículos motorizados (con los que suelen compartir calzada a causa de la falta de carriles bici) y la falta de protección en caso de accidente.

La creciente necesidad de la búsqueda de sistemas de transporte más sostenibles y la necesidad de reducir el nombre de accidentes está llevando a una investigación y desarrollo de nuevas tecnologías para mejorar la situación de accidentabilidad relacionada con los ciclistas. Finalmente, también se busca reducir el número de siniestros causados por otros tipos de vehículos, y por lo tanto se están investigando e implementando nuevos sistemas de seguridad en distintos ámbitos.

Ya que uno de los principales causantes de la accidentabilidad en ciclistas es la interacción entre ellos mismos y con los vehículos monitorizados del entorno cercano, se hará especial hincapié en este estudio en aquellas tecnologías que buscan mejorar la interacción de los distintos tipos de vehículos con el entorno.

A continuación, se estudiarán algunos de estos sistemas implementados principalmente en vehículos motorizados, con tal de analizar en qué dirección se están desarrollando las mejoras y finalmente extrapolar alguno de los sistemas utilizados en otros medios de transporte y aplicarlo en las bicicletas.

4.2.1. El vehículo conectado

El vehículo conectado es un vehículo común que está conectado a internet o a una red inalámbrica local y que permite compartir información con otros dispositivos que se encuentren tanto en un radio interno o externo al suyo. Esto es de especial interés ya que permite avisar tanto al conductor como al entorno de posibles accidentes y problemas que puedan ocurrir y permite, entre otras cosas, comprobar el estado del vehículo desde el móvil, etc.

El primer vehículo conectado fue introducido por General Motors en 1996, y su principal propósito consistía en contactar con el servicio de emergencias en caso de accidente. Al principio sólo se implementó el servicio de llamada de emergencia, pero poco después se mejoró la tecnología para enviar también la posición del vehículo. Poco a poco se fueron añadiendo más compañías automovilísticas al concepto de vehículo conectado, y se fueron incorporando más características que hoy en día son comunes en la mayoría de los vehículos, como por ejemplo, avisos sobre el estado del motor del vehículo o navegadores GPS con mapas e indicadores de ruta. [23]

A medida que la tecnología avanza, es posible incluir nuevas características al sistema. Actualmente, se diferencian 5 formas de conectividad del vehículo, las cuales son:

- **Conectividad vehículo – infraestructura (V2I)**

Comunicación bidireccional inalámbrica entre los vehículos y la infraestructura. Es necesario que los vehículos tengan un dispositivo GPS para conocer su posición exacta, comunicación vía satélite o con postes situados a lo largo de la carretera y el sistema de control. Se utiliza, entre otras cosas, para informar sobre la duración de los semáforos, ver el número de plazas libres en parkings e informar sobre la posibilidad de atascos en zonas cercanas. También, puede informar al vehículo acerca de la velocidad óptima de circulación para evitar los máximos semáforos en rojo posibles y reducir el consumo de combustible. [24]

- **Conectividad vehículo – vehículo (V2V)**

La conectividad entre vehículos permite a través de comunicaciones inalámbricas intercambiar información sobre la posición, velocidad y dirección de los vehículos cercanos. Cuando se detecta una posible situación de alarma, el coche lo detecta y avisa al conductor mediante sonido o imágenes con tal de evitar que se produzca una colisión.

Este sistema es especialmente interesante, ya que, en muchos casos, sólo con la ayuda de sensores o cámaras, que puedan ir ya instalados en el vehículo, no es suficiente para evitar la colisión. A pesar de que la principal función del sistema es evitar accidentes de tráfico, también se puede utilizar para evitar atascos y reducir la emisión de gases al medio ambiente, ya que puede aconsejar acerca de la velocidad óptima de conducción teniendo en cuenta la interacción con el resto de los vehículos que se encuentran en la vía. [25]

- **Conectividad vehículo – nube (V2C)**

La tecnología intercambia información entre diferentes servicios conectados al vehículo con un sistema en la nube. Esto permite que el vehículo use información de otros vehículos conectados.

- **Conectividad vehículo – peatón (V2P)**

Se informa al vehículo sobre la presencia de peatones y ciclistas en un radio cercano al vehículo con tal de evitar atropellos, y avisa a los peatones y ciclistas de los posibles peligros que involucren a vehículos a su alrededor. [26]

- **Conectividad vehículo – todo (V2X)**

Todos los vehículos, infraestructuras, sistemas y peatones están conectados entre sí. Esto no sólo ayuda a evitar accidentes de tráfico, sino que también facilita que el flujo del tráfico y reduce los niveles contaminantes producidos por las emisiones de los vehículos. Esta tecnología notifica sobre cualquier información que sea relevante como puede ser el corte de una calle por obras, la disponibilidad de plazas de aparcamiento, una posible colisión con un coche o peatón o la velocidad óptima para no tener que detenerse en ningún semáforo. Las posibilidades que proporciona esta tecnología son enormes, ya que se trata de una comunicación completa con los elementos externos [27].

En la figura 10 se puede observar varios ejemplos de cómo la conectividad V2X puede mejorar la circulación de los vehículos en la ciudad, ya sea proporcionando información de utilidad o evitando posibles accidentes de tráfico. En color verde y marcado con números, se explican las distintas utilidades que tiene la conectividad V2X. Por otra parte, los textos en color rojo son ejemplos de los mensajes que el conductor del vehículo recibe a medida que va circulando y se encuentra con ciertos problemas.



Figura 10. Ejemplo de la conectividad V2X en la ciudad [27]

Tal y como hemos visto, el principal objetivo de estas tecnologías es la comunicación, ya bien sea entre usuarios en una cierta zona, con la infraestructura o a terceras personas. Según el tipo de comunicación que haya, se pueden evitar una serie de accidentes u otros.

Actualmente las principales aplicaciones existentes que nacen a partir de estas tecnologías están pensadas para coches, ya que representan la mayor parte de los accidentes de tráfico alrededor del mundo. Sin embargo, estas son fácilmente extrapolables para bajar la siniestralidad de VRU. Algunos de los usos (enfocados a la seguridad) más destacados que se dan a esta serie de tecnologías actualmente son las siguientes [28], [29], [30]:

- **Luz de freno electrónico de emergencia (EEBL)**

Avisa al conductor de que un vehículo situado delante está frenando de forma repentina. El vehículo no tiene por qué estar situado justo delante, puede ser que se encuentre fuera del alcance visual. Es de especial utilidad para cuando se produce un choque en autopistas, ya que en ocasiones los vehículos que van detrás acaban colisionando también.

- **Aviso de colisión delantera (FCW)**

Informa al conductor de un posible peligro de colisión con el coche delantero con la finalidad de que éste frene.

- **Advertencia de obras en carretera (RWW)**

Informa de obras en la carretera al conductor del vehículo. Su objetivo es reducir los accidentes producidos por el despiste y falta de anticipación del usuario frente a los trabajos de mantenimiento, que suelen implicar el cierre de carriles en la carretera.

- **Aviso de punto ciego + Advertencia de cambio de carril (BSW+LCW)**

Informa al conductor durante un cambio de carril si hay peligro o no de colisión, principalmente causado por un vehículo situado en un punto ciego.

- **Asistente en intersección (IMA)**

Informa al conductor cuando no es seguro entrar en una intersección a causa de una posible colisión con otro vehículo.

- **Asistente de giro a la izquierda (LTA)**

Informa al conductor cuando hay posibilidad de colisión con un vehículo del carril contrario al girar a la izquierda.

Tal y como se puede observar, cada una de estas aplicaciones precisa de la comunicación entre el vehículo y otros vehículos de alrededor, o entre el vehículo y la infraestructura. En la siguiente tabla se detallan los tipos de colisiones que se intentan evitar con cada una de las aplicaciones nombradas, y que tipo de conectividad utiliza cada una para llevar a cabo su cometido:

Aplicaciones	Tipo de colisión que evita	Tipo de conectividad
Luz de freno electrónico de emergencia (EEBL)	Frontal	V2V
Aviso de colisión delantera (FCW)	Frontal	V2V
Advertencia de obras en carretera (RWW)	Frontal	V2I
Aviso de punto ciego + Advertencia de cambio de carril (BSW+LCW)	Cambio de carril	V2V
Asistente en intersección (IMA)	En intersección	V2V
Asistente de giro a la izquierda (LTA)	Con carril contrario	V2V

Tabla 2. Tipos de colisiones que intentan evitar las aplicaciones citadas

Algunas de estas aplicaciones se pueden extrapolar a la detección de VRU con tal de evitar colisiones: en vez de detectar los coches cercanos, podría detectar los ciclistas o peatones que se encuentran a su alrededor.

A pesar de las múltiples ventajas que el vehículo conectado ofrece a peatones, conductores y medio ambiente, en el caso particular que nos ocupa, es de especial interés la interacción que esta tecnología puede tener con los ciclistas. Mediante la conectividad de los vehículos con el entorno, se podrían implementar soluciones que permitan avisar a los conductores en caso de tener ciclistas cerca en determinadas situaciones de peligro, recordar cual es la distancia de seguridad que deben dejar para adelantarlos o informar de carriles bici cercanos para extremar la precaución.

Finalmente, de la misma forma que se utiliza la tecnología para que el coche esté conectado con el entorno, se podría aplicar a las bicicletas: así pues, el ciclista recibiría información en directo sobre su entorno inmediato con tal de utilizarlo para reducir la accidentabilidad.

4.3. Aplicaciones y casos de uso en la bicicleta

Viendo el éxito que ha tenido la conectividad del coche con el entorno, ya se han empezado a introducir este tipo de tecnologías en las bicicletas y sus complementos (por ejemplo, el casco). Gracias a la tecnología existente se pueden atacar e intentar solucionar los problemas que más destacan los ciclistas, como el miedo a sufrir un accidente y las consecuencias que eso conlleva.

A continuación se repasarán cuáles están siendo los avances en este campo y como se está aplicando la tecnología de la conectividad V2I en las bicicletas y cascos con tal de reducir la siniestralidad.

4.3.1. El casco inteligente

En el caso de España, el uso del casco en la bicicleta es obligatorio para menores de edad en cualquier tipo de vía y carril y para gente de todas las edades en autovías. Pero hay que tener en cuenta, que, aunque el uso del casco fuese obligatorio siempre, no tendría por qué implicar que la seguridad esté garantizada.

A pesar de que hay estudios que reconocen que el casco realmente previene lesiones en la cabeza [31], no asegura una buena protección contra impactos a altas velocidades [32]. Asimismo, hay que tener en cuenta que la falta de información sobre qué casco escoger y, en muchos casos, la poca calidad de los mismos acaba significando que no siempre, el uso del casco, asegura que la seguridad del ciclista esté garantizada mientras monta en bicicleta.

También hay que tener en cuenta que actualmente la red de carriles bici en España es más bien escasa, obligando a los ciclistas a compartir carretera con coches y otros vehículos. La diferencia de velocidad y de tamaño con el resto de los vehículos que utilizan las carreteras es notable, haciendo que la visibilidad de los ciclistas sea muy reducida, poniéndolos en peligro.

A pesar de que muchos de los peligros nombrados asociados a montar en bicicleta no son fácilmente solucionables, conceptos como el del casco inteligente intentan minimizar su impacto. El casco inteligente proporciona una serie de funciones para intentar compensar algunos de los inconvenientes nombrados, y agilizar y favorecer la llamada de socorro en caso de accidente. Algunas de las funciones que puede incorporar el casco inteligente son [33]:

- Luces led de color rojo en la parte trasera del casco para mostrar la posición al resto de usuarios, ya sean ciclistas o conductores de algún otro tipo de vehículo. De esta forma, se intenta mejorar la visibilidad del ciclista.
- Luces inteligentes led intermitentes de color amarillo en la parte trasera del casco para indicar los giros. Se pueden controlar a través del teléfono bluetooth o con el mando multifunción que está conectado con el casco.
- Aviso de emergencia a contactos escogidos en caso de accidente o golpe. El casco cuenta con un acelerómetro, el cual detecta el impacto del incidente y el casco manda automáticamente un mensaje con la ubicación del ciclista a una serie de números de teléfono elegidos previamente. De esta forma, los contactos tienen constancia de la posición del accidentado y pueden ponerse en contacto con el servicio de emergencias.

- Dos altavoces y un micrófono para permitir la comunicación con el teléfono móvil, y así evitar el uso directo con el teléfono mientras se monta en bicicleta. Los altavoces están diseñados para no bloquear el ruido del exterior y de esta forma el ciclista pueda percibir los sonidos de su alrededor.
- El casco cuenta con una aplicación móvil que permite registrar datos de velocidad, distancias y recorridos, y ésta puede ser compartida con otros usuarios y/o familiares. De esta forma, resulta sencillo obtener información adicional y saber la posición del ciclista en caso de accidente.

Con estas propuestas se pretende reducir el número de accidentes de tráfico, proporcionando una mayor visibilidad al ciclista a otros vehículos o usuarios de la vía. Finalmente, en caso de que se produzca un accidente, la intención es reducir el tiempo de espera hasta que llegue la ayuda (gracias al aviso automático a los servicios de emergencia) reduciendo así la probabilidad de muerte o la aparición de secuelas importantes.

Aunque por regla general todos los prototipos en los que se está trabajando sigan las mismas tendencias, cabe destacar otras opciones con características singulares como el caso del casco-airbag Hövding [34], producido en Suecia (Figura 1111):



Figura 11. Casco-airbag Hövding

En condiciones normales el airbag se mantiene plegado en un cinturón que se coloca alrededor del cuello, y cuando se produce una colisión éste se abre y cubre la cabeza en menos de 0.1 segundos. Acto seguido, se conecta automáticamente con la app asociada al casco mediante bluetooth y llama a los contactos de emergencia previamente escogidos para avisar del accidente.

La app asociada también sirve para recoger datos sobre la velocidad, recorrido realizado, calorías consumidas, tiempo transcurrido, etc. También, esta misma empresa, está desarrollando un sistema de detección de accidentes, recogiendo mediante GPS la localización de los puntos donde ocurren más accidentes avisando al ciclista cuando se acerca a esas zonas determinadas.

4.3.2. Bicicleta inteligente

Incorporando algunas de las funciones del vehículo conectado y combinándolas con otras necesidades específicas que tiene la bicicleta, en los últimos años se han empezado a desarrollar mejoras que tienen en cuenta a este tipo de usuarios. Por ejemplo, algunas instituciones holandesas (donde el uso de la bicicleta está mucho más popularizado que en España) están trabajando en el diseño y producción de bicicletas inteligentes, las cuales son bicicletas normales a las que se les ha añadido parte de la tecnología que lleva el coche conectado.

De esta forma, la bicicleta puede avisar al usuario sobre peligros a su alrededor y así poder evitar un posible accidente. También se incluyen ciertas funciones para ayudar a los ciclistas más mayores a pedalear y a mantener la estabilidad sobre la bicicleta.

En la figura 12 se puede ver un esquema con las principales mejoras que incorpora el prototipo de la bicicleta inteligente creada por la empresa holandesa TNO:



Figura 12. Imagen de la revista FietsVerkeer nº37

La necesidad principal que motivo la creación de este tipo de bicicletas en Holanda fue el alto porcentaje de muertes por accidentes de tráfico que involucraban a ciclistas, ya que suponían alrededor de un 30% de los fallecidos totales en accidentes de tráfico en 2017 [35]. De todos ellos, muchos accidentes fueron producidos por la colisión con coches u otro tipo de vehículos motorizados, ya que en Holanda se permite la circulación de vehículos de pequeña cilindrada (que alcanzan hasta los 30km/h) por los carriles bici.

Con tal de aplacar estos problemas con los vehículos motorizados, la bicicleta inteligente cuenta con radares traseros que alertan mediante vibración, y un transmisor wifi que comunica su proximidad a conductores cercanos.

Otro problema creciente en Holanda es el aumento del uso de las bicicletas entre la gente de la 3ª edad [36]. A pesar de que los utilitarios de las bicicletas a esas edades no suelen tener prejuicios en contra de las bicicletas y las utilizan con normalidad, sus reflejos y equilibrio no son los mismos que los de los usuarios más jóvenes y en caso de caída las consecuencias son

mayores. Así pues, los prototipos de bicicleta inteligente también cuentan con estabilizadores para facilitar su uso, un sistema que ayuda a arrancar el pedaleo de la bicicleta y un sillín que se ajusta en función de la velocidad facilitar su conducción y maniobrabilidad.

Finalmente, la bicicleta también está equipada con un sistema radar en la parte delantera, para la detección de piedras u otro tipo de objetos en el carril, y con un sistema de posicionamiento GPS para informar de la localización de la bicicleta (útil tanto en caso de accidente como en caso de robo).

La bicicleta mostrada en la figura 12 es uno de los múltiples prototipos en los que se está estudiando en la actualidad. Sin embargo, aunque las distintas empresas están trabajando en su propio diseño de bicicleta inteligente, la mayoría de los prototipos siguen en mayor o menor medida las mismas directrices ya que se centran en resolver los mismos problemas de seguridad hacia el ciclista. Así pues, no hay gran variación de un modelo a otro.

4.4. Aplicaciones de móvil para ciclistas

Después de estudiar la conectividad V2X que se empieza a implementar en los coches y ver como se intenta adaptar a las bicicletas, podemos intentar estudiar cómo se puede avanzar en este campo.

Hasta el momento hemos visto que la tecnología de la conectividad en las bicicletas se limita a unas cuantas características básicas, pero de la misma forma que en el coche se envía toda la información a una pantalla para que el conductor pueda estar al corriente de todo lo que ocurra a su alrededor, se podría intentar que los ciclistas tuviesen toda la información en su dispositivo móvil. Así pues, se podría informar sobre posibles peatones o vehículos que invadan el carril bici o desperfectos en el mismo tales como baches, desniveles o suelos resbaladizos entre otras posibles incidencias.

Con tal de poder informar al ciclista de este tipo de incidencias, primero hay que preocuparse sobre como detectarlas y como enviar la información al ciclista. Desde hace unos años, ya se está estudiando cómo utilizar el teléfono móvil para que sea él mismo el que detecte algunos de los problemas mencionados y notifique al usuario. Por ejemplo, mediante el uso de los sensores incluidos en los dispositivos móviles modernos (como el acelerómetro) se está estudiando como poder detectar los accidentes (como hace el casco inteligente) o poder detectar los baches en los carriles.

Sin embargo, este es un campo relativamente nuevo e inexperto, ya que todavía no se han llevado a cabo estudios exhaustivos sobre como conectar la bicicleta con su entorno. A pesar de esto, ya se han desarrollado algunas aplicaciones para móviles que atacan algunos de los problemas mencionados basándose en la tecnología ya aplicada a los coches y utilizando los sensores internos del teléfono móvil. A continuación se estudiarán algunas de esas aplicaciones:

- **BikenearU**

Aplicación tanto para conductores de coches como ciclistas; detecta ciclistas mientras conduces, o en caso de que vayas en bicicleta enviará tu ubicación a los conductores de coche.

En el caso de los conductores de coche, se les mostrará un mapa de la zona con la ubicación de los ciclistas cercanos (que lleven la aplicación instalada). Cuando se aproxime alguno, se emitirá un pitido para alertar al conductor. Sin embargo, si eres ciclista la única función de la aplicación es mandar tu ubicación a los conductores cercanos; no se te mostrará un mapa con otros ciclistas o vehículos próximos [37].

- **Bicicrash**

Aplicación que con ayuda del acelerómetro del teléfono móvil detecta cuando se ha producido un accidente, y avisa de forma automática tanto a emergencias como a un círculo de contactos previamente indicado. Junto con el aviso se enviará la ubicación en la que ha ocurrido el accidente, y así poder conseguir que llegue la ayuda lo antes posible [38].

A pesar de que ambas aplicaciones mencionadas utilizan la tecnología que hemos nombrado anteriormente, ninguna la explota de una forma más completa; en ninguno de los casos hay un sistema para alertar al ciclista de un posible accidente o caída.

En el caso de *BikenearU* toda la información se proporciona a los conductores de los vehículos motorizados cercanos, pero el ciclista no recibe ningún tipo de información. A pesar de que ayuda a la prevención de choques entre vehículos y bicicletas, no aporta soluciones para la reducción de la siniestralidad en los casos de caídas, choques entre ciclistas o choques con peatones.

En cuanto a *Bicicrash*, la app se centra en reducir el tiempo de la llegada de ayuda con tal de reducir las posibles secuelas o mortalidad en el ciclista accidentado. Sin embargo tampoco ayuda a prevenir los accidentes desde el punto de vista del ciclista.

Así pues, a pesar de que ambas aplicaciones aportan buenas soluciones para reducir la siniestralidad en ciclistas, todavía queda mucho trabajo por delante.

4.5. Principales conclusiones

Tal y como hemos podido observar, el uso de la bicicleta en España durante esta última década va en aumento. Sin embargo, esto también ha implicado un crecimiento en el número de accidentados (tanto graves como leves).

Algunos estudios [14] apuntan a que las principales causas tras los accidentes de ciclistas son la interacción con otros usuarios y obstáculos en la infraestructura. Con tal de reducir el número de accidentes y sus consecuencias, actualmente hay varias vías de estudio que intentan mejorar la comunicación entre los usuarios e informar sobre el estado del carril.

Entre estas tecnologías se destaca el coche conectado, que mediante la conectividad vehículo – todo (V2X) informa al conductor sobre cualquier tipo de información relevante sobre el entorno que le rodea: vehículos que se acercan, atascos, cortes de calles, etc. Este tipo de conectividad está pensada para aplicarla a cualquier tipo de vehículo (no solo coches) y por lo tanto se podría implementar en las bicicletas también.

Como ya se ha mencionado anteriormente, a pesar de que actualmente las aplicaciones más notables que se pueden utilizar aprovechándose de esta tecnología están pensadas para coches, también se pueden aplicar para mejorar la seguridad de los VRUs. De la misma forma que se detectan los vehículos para evitar colisiones, también se podrían detectar peatones y ciclistas para evitar atropellos. Así pues, también se podría aplicar estas aplicaciones a las bicicletas, para que éstas detecten vehículos, bicicletas y peatones cercanos.

Finalmente, toda esta información se podría transmitir al ciclista mediante una aplicación móvil. Actualmente hay unas pocas aplicaciones móviles que utilizan este sistema, pero no aprovechan la totalidad de la interconexión entre vehículos ni ayudan a la prevención de accidentes entre ciclistas.

5. Aplicación móvil para reducir la siniestralidad

Una vez estudiados los principales problemas que experimentan los ciclistas, se puede intentar aplacar los más perjudiciales con tal de reducir la siniestralidad. Tal y como hemos visto hasta ahora, la principal vía de trabajo por la cual se está avanzando en este campo es la interconectividad entre vehículos y su entorno; actualmente se está trabajando en el coche conectado, el cual empieza a ser una realidad. Tomándolo como ejemplo, se empiezan a aplicar las mismas tecnologías para el beneficio de los ciclistas.

Hemos visto algunos ejemplos de tecnología V2X aplicados a la bicicleta, pero en todos los casos se centran en algún aspecto concreto en vez de abordar de forma global todas las posibilidades de la interconectividad de la bicicleta y el entorno.

El objetivo de este trabajo será desarrollar una aplicación móvil que cumpla esa función dentro del contexto y recursos actuales: para que haya una interconectividad total, es indispensable que haya ciertos recursos disponibles. En la actualidad esto no es lo habitual, ya que ni las bicicletas ni los carriles bici tienen sensores (de movimiento, proximidad, etc).

Sin embargo, en 2019 se puso en marcha un proyecto centrado en mejorar los carriles bici en una serie de aspectos distintos, entre los cuales se encuentra colocar sensores en el carril con tal de informar a los ciclistas sobre lo que ocurre en su entorno.

5.1. Proyecto Bici Sendas

Atendiendo a las necesidades anteriormente explicadas, nace el proyecto Bicisendas. Se trata de un proyecto multidisciplinario centrado en mejorar el carril bici, en el que participan una serie de empresas españolas (cada una centrada en un ámbito concreto del proyecto); por ejemplo, tanto UPC como CIMNE participa en el proyecto.

El objetivo principal es crear carriles bici modulares que estén producidos con materiales sostenibles y que tengan medidas tecnológicas para poder informar al ciclista con tal de reducir la siniestralidad. Según las necesidades de cada ciudad, el carril bici se adaptará a ellas con tal de dar la mejor experiencia posible al usuario. Al hacer el carril bici modulable, su instalación será más fácil y abaratará costes.

El proyecto comenzó en 2019, con intención de acabarlo para 2023. Actualmente está en fase de planificación e investigación, estudiando que opciones son viables de llevar a cabo en el carril bici. Sin embargo, hay una línea clara de objetivos y requisitos que el carril deberá tener, como por ejemplo:

- Construcción de carriles permeables e impermeables
 - o Los carriles permeables también contribuirán a la prevención de inundaciones en la zona, ya que serán capaces de recoger el agua pluvial. Una vez recogida, será tratada y usada para riegos u otros usos en la zona.
- Carriles tendrán recubrimientos basados en nanopartículas dopadas de TiO₂ para eliminación de VOCs y NOx del aire, y así reducir la contaminación de la zona.

- Sistema de generadores de electricidad (generadores basados en materiales magnetostrictivos, recuperadores de energía por inducción integrado en superficie y aerogeneradores) para que el carril se autoabastezca

Todas estas medidas están pensadas no sólo con la finalidad de reducir el riesgo y mejorar la salud de los ciclistas, sino que también implementan tecnologías que puedan ser de ayuda para la comunidad de forma global. Sin embargo, las siguientes medidas están pensadas específicamente para reducir la siniestralidad de los ciclistas mediante el uso de tecnología:

- Implementación de sistemas de luminiscencia tanto para señalización e iluminación en condiciones nocturnas como para señalización de seguridad
- Sensores en el carril que localicen en todo momento a los usuarios que pasen por él, y detecte incidencias y peligros que puedan ocurrir (invasión de vehículos o peatones, detección de baches, etc)
- Disposición de pantallas en los laterales que proporcionen información útil, como por ejemplo el estado del carril bici.
- Creación de una app móvil que recoja toda la información captada por los sensores para informar a los ciclistas y gente del entorno en tiempo real.

En la figura 13 se puede ver un ejemplo de cómo sería y funcionaría un carril bici según se ha pensado en el proyecto:

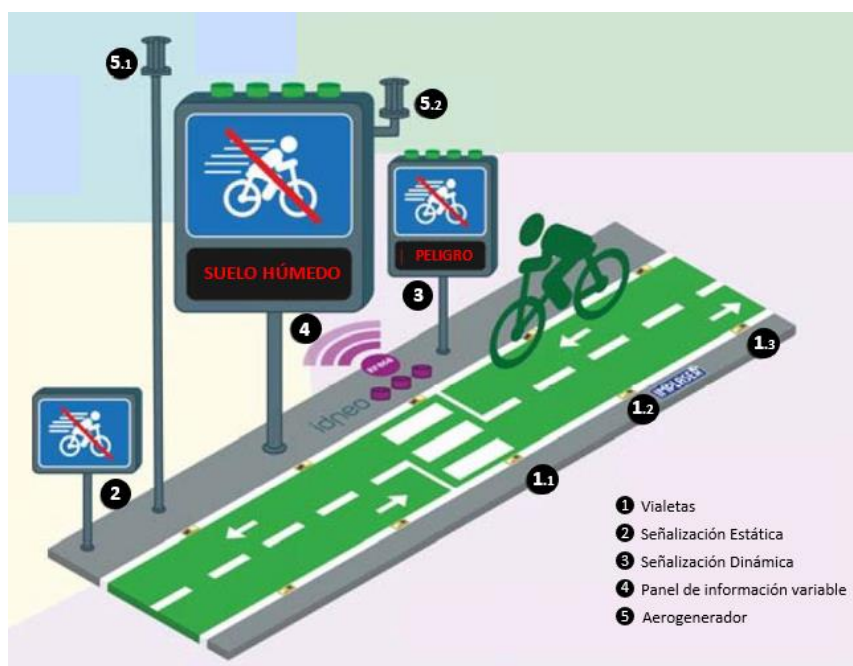


Figura 13. Ejemplo de un carril de bicicleta del proyecto Bici Sendas

Tal y como se puede observar, la tecnología empleada es muy similar a la nombrada anteriormente; se basa en una comunicación constante del entorno con los ciclistas. La información recibida mediante los sensores del carril será transmitida a las pantallas laterales y

a la aplicación móvil. A pesar de que la información de la pantalla y de la app será principalmente útil para los ciclistas que circulen por el carril, también afectará a los peatones y conductores de vehículos cercanos, ya que se evitarán colisiones con ellos. En el caso de los vehículos conectados, se les puede hacer llegar cierta información relevante a ellos también, consiguiendo un servicio global.

5.1.1. Aplicación móvil

Siguiendo la línea actual, el proyecto Bici Sendas también apuesta por una comunicación V2X en sus carriles bici, ofreciendo información relevante a los ciclistas que circulen por esos carriles.

Gracias a los sensores que estarán colocados en el carril, se podrá detectar e informar si algún vehículo motorizado o peatón ha invadido el carril, aumentando el tiempo de respuesta y así potenciando que se eviten coches de ciclistas con terceros. Entre otras cosas, también se podrá detectar si el carril está mojado y hay riesgo de resbalarse.

Sin embargo, también se puede obtener información de otras fuentes para casos en los que haya situaciones excepcionales como pueden ser obras en algún punto del carril, una calle cortada por una manifestación, etc. Mediante la ayuda del acelerómetro del teléfono móvil también se pueden detectar baches en el carril, y juntamente con la posición GPS en ese momento se puede enviar un aviso directo a la aplicación. Con la información acumulada de todos los usuarios que pasen por ese punto, se puede conseguir saber con exactitud donde están situados los baches.

De entre todas las empresas que trabajan conjuntamente en el proyecto Bici Sendas, CIMNE es la encargada de diseñar y llevar a cabo la aplicación móvil, que estará disponible para dispositivos Android. Según los sensores que finalmente se decidan colocar en el carril, y en función de los requisitos que se necesiten, la aplicación tendrá unas funciones u otras.

Mi objetivo con este trabajo, mediante la colaboración con CIMNE, es hacer una aplicación móvil que sirva como primer prototipo para la futura aplicación que se desarrollará. Como cabe de esperar, a medida que el proyecto avance se introducirán cambios que afectarán de forma inevitable a la app móvil, y por lo tanto el resultado final y definitivo será distinto a la aplicación que se diseña en este trabajo. SIN EMBARGO, con este primer diseño de la aplicación se pretende empezar a avanzar en la dirección correcta e ir comprobando cual es la respuesta frente a esta tecnología.

5.1.2. ¿Por qué aplicación móvil?

Una de las dudas que pueden surgir es la razón tras decidir desarrollar una aplicación móvil en vez de escoger otra alternativa. Me he decidido por el desarrollo de una aplicación móvil por una serie de motivos muy variados:

- **Disponibilidad y facilidad para los usuarios**

Hoy en día la mayoría de la población cuenta con un smartphone que lleva a todos lados. Esto implica que siempre tendrá la opción de utilizar la app, ya que siempre la llevará consigo mismo.

Además de la disponibilidad, también implica una ventaja económica para los usuarios. Al crear una aplicación móvil gratuita, el usuario no se deberá gastar dinero para usarla, tan sólo deberá instalar la aplicación en su dispositivo móvil.

Estos motivos han sido de gran peso en cuanto a la elección de que hacer para bajar la siniestralidad en los ciclistas, ya que el objetivo principal es proporcionar un sistema efectivo a la mayoría de la población, y por lo tanto se tiene que asegurar que comporte el menor coste posible. Mediante el diseño de una app el único coste asociado es el del dispositivo móvil, que ya suele estar contemplado dentro de la economía familiar al ser considerado un objeto “imprescindible” en muchos casos.

- **Fácil implementación**

Al ser una aplicación virtual y no objeto físico, no es necesario instalar ningún objeto en la bicicleta. Esto es de especial utilidad en los casos de servicios de bicicleta compartida, ya que es difícil llegar a un acuerdo con los principales servicios de bici para que implementen tu dispositivo en sus bicicletas. Es el propio usuario quien, al utilizar la bicicleta, inicia la app desde su dispositivo móvil.

- **Línea de trabajo actual V2X**

Tal y como hemos visto, la línea actual de trabajo por la que han apostado las grandes compañías para reducir la siniestralidad en vehículos motorizados es mediante la conectividad entre vehículos.

Al hacer una aplicación móvil se abren las puertas a poder compartir la información de la app con el entorno (vehículos cercanos, carril...) y viceversa: que los vehículos cercanos reciban la información de la aplicación móvil.

De esta forma se puede conseguir una “doble protección”: el ciclista recibe un aviso sobre un coche que se aproxima a gran velocidad, y el coche recibe un aviso de que hay un ciclista en su camino.

Por último, se han hecho estudios y pruebas sobre cómo reducir la siniestralidad de los ciclistas mediante el uso de los sensores que se encuentran en los dispositivos móviles, y de momento han dado buenos resultados. Esto implica que es viable poder sacar una buena solución para reducir la siniestralidad mediante el uso de una aplicación móvil.

5.2. Problemas que aplacar

Con tal de decidir las funciones que tendrá la aplicación, primero se debe estudiar cuales son los principales peligros a los que se ven expuestos los ciclistas, y también cuáles son sus miedos.

En el apartado 1 de este trabajo hemos podido comprobar que un alto porcentaje de la población alega tener miedo a causa del tráfico de vehículos motorizados como la razón principal para no usar la bicicleta en su día a día. Este porcentaje se acentúa en Barcelona, donde era la principal razón entre sus ciudadanos.

Sin embargo, si echamos un vistazo a los datos proporcionados por el barómetro de la bicicleta sobre las causas de los accidentes, el 60,4% de los accidentes se producen por caídas y choques con objetos de la calle, no por colisiones con terceros. Tan sólo el 30% de los accidentes están producidos por el choque de un tercero contra el ciclista (ya bien sea otro ciclista o vehículo motorizado), y un 7,7% son producidos por el atropello de un ciclista contra un peatón u otro ciclista. Un estudio realizado en 2012 en Holanda señala que la mayoría de los ciclistas hospitalizados tras un accidente fue a causa de un accidente propio y no de un choque con otro vehículo (motorizado o no) o peatón [12].

Así pues, a pesar de que gran parte de la población española no usa la bicicleta a causa del miedo que les producen las posibles colisiones con vehículos motorizados, no es el principal problema que experimentan los ciclistas: las caídas y choques con objetos urbanos son los principales responsables de los accidentes que requieren la hospitalización de los ciclistas.

Con tal de intentar aplacar el máximo número de problemas posibles, se hará una distinción entre soluciones para reducir el miedo a ser atropellado y las soluciones para evitar las caídas y choques propios.

5.2.1. Accidente propio

Suponen el 60,4% de los accidentes totales entre ciclistas. Según el estudio holandés anteriormente nombrado, al entrevistar a los ciclistas hospitalizados a causa de accidentes propios sobre cuál había sido la causa, obtuvieron una serie de motivos muy variados. A continuación se nombran unos cuantos de esos motivos, ordenados por su ocurrencia:

- Resbalarse a causa de gravilla, arena, agua... sobre la superficie del carril
- Colisión con algún objeto del carril (bolardos)
- Frenada brusca y posterior caída
- Pérdida de control a causa de un bache en el carril
- Fallo en los frenos: mal mantenimiento
- Rueda patina al girar a causa de estar muy deshinchada
- Cadena se sale del sitio

Tal y como se puede observar, hay una clara diferencia entre motivos ajenos al ciclista y consecuencias por llevar la bicicleta en mal estado. Es de gran importancia hacer hincapié en los motivos ajenos al ciclista, ya que esto significa que afectan a todos los usuarios que pasen por esa zona concreta que está en mal estado. Un claro ejemplo sería el carril de bici de la figura 14, situado en Sant Feliu de Llobregat (actualmente está siendo reformado):



Figura 14. Carril bici bacheado a causa de las raíces de los árboles contiguos (fotografía de Isidre B.)

El carril bici de la figura 14 está completamente deformado a causa de las raíces de los árboles de su alrededor. Tal y como se puede observar, al tratarse de una zona bastante bacheada, es fácil que se produzcan accidentes a nivel individual al circular con la bicicleta.

5.2.2. Accidente múltiple

En esta categoría se incluirían las colisiones entre:

- 2 o más bicicletas
- un vehículo motorizado y una bicicleta
- bicicleta con un peatón

5.2.2.1. Colisiones entre bicicletas

Las colisiones entre bicicletas suelen ocurrir en intersecciones y giros muy cerrados, donde las bicicletas se encuentran de cara viniendo de distintos sentidos. En el caso de las intersecciones se propician mucho más las colisiones entre ciclistas a causa de la coordinación que deben tener las diferentes partes. Cuando la densidad de tráfico es muy baja, la probabilidad de choques es más baja; sin embargo, si la densidad de tráfico es alta es relativamente fácil que haya alguien despistado y se produzca un accidente.

En la figura 15 se puede observar la intersección de varios carriles bici en la ciudad de Delft, en Holanda. El carril principal es el que lleva a la universidad de la ciudad, y a primera hora de la mañana es habitual que haya un gran tráfico de bicicletas:



Figura 15. Intersección de carriles bici en Delft, Holanda (Fotografía de Thomas Zwart)

Como se puede observar en la figura 15, es difícil mantener un orden de paso para que no se produzcan accidentes. Al no haber ningún tipo de señalización de tráfico, la responsabilidad de mantener el orden recae enteramente en los ciclistas que se encuentran en ese momento en el carril. Por último la bicicleta no cuenta con intermitentes para señalar cuando girar, así que se suele señalar con la mano. En el caso de ciclistas novatos, puede conllevar a desequilibrios y una reacción lenta en caso de accidente, ya que tienen que levantar una mano del manillar.

5.2.2.2. Colisión entre vehículo motorizado y bicicleta

A causa de la falta de una red de carriles bici completa y extensa, en muchas ocasiones las bicicletas han de compartir carretera con los vehículos motorizados.

La diferencia de velocidades de los distintos tipos de vehículo, y la existencia de puntos ciegos en los vehículos más grandes (coches) potencia el atropello de los ciclistas que circulan por la carretera.

Otra cosa que influye en la accidentabilidad es la falta de visibilidad de los ciclistas frente a todo tipo de vehículos motorizados, causado por una falta de buena iluminación de la bicicleta. Las luces que se deben incorporar en las bicicletas no sólo deben servir para ver lo que hay a su alrededor, sino también para que te vean el resto de los vehículos. Tan sólo un 76.6% de los usuarios afirman utilizar luces siempre que son necesarias [7].

5.2.2.3. Colisión entre bicicleta y peatón

Las razones por las cuales se producen las colisiones de peatones y bicicletas son múltiples; a continuación se nombrarán algunas de las más comunes y globales:

- **Bicicletas circulando por la acera**

A causa de la falta de carriles bici y del temor que produce circular por la carretera, muchos ciclistas optan por circular por la acera: un 46.6% declara que suele circular por ella cuando utiliza la bicicleta [7].

A pesar de que la normativa no prohíbe circular por la acera, esto conlleva un cierto peligro para los peatones (sobre todo si el ciclista en cuestión va a una velocidad elevada), especialmente en giros de calles y otros espacios con poca visibilidad.

- **Carriles bici pobremente diseñados**

A pesar de que la intención de diseñar e implementar carriles bici es de crear un espacio seguro para los ciclistas y también reducir la accidentabilidad en peatones, en ocasiones la ubicación escogida para los carriles bici es poco acertada. No siempre es fácil organizar bien el espacio para asegurar al 100% la comodidad y seguridad de todas las partes implicadas, pero en ocasiones nos encontramos con carriles bici muy mal ubicados y que resultan en múltiples problemas.

Un claro ejemplo sería el de las siguientes figuras, donde se puede observar el carril bici situado en el límite de Sant Feliu de Llobregat y que se encuentra justo delante de la entrada de un parque infantil:



Figura 16. Vista aérea de parque infantil y el carril bici (imagen de Google Maps)



Figura 17. Parque infantil y carril bici rodeándolo (fotografía de O. López)

En ambas figuras (16 y 17) se puede apreciar como el carril bici (marcado con la línea discontinua naranja) rodea por completo el parque infantil, pasando justo por delante de la entrada. No es difícil encontrar a padres hablando en la entrada o carritos aparcados a los alrededores del parque, colocados en el carril bici.

Como es de esperar, es fácil que se produzcan accidentes en esta zona; si algún niño decide salir corriendo del parque infantil justo cuando viene un ciclista, es difícil que este lo vea y frene a tiempo.

- **Invasión del carril bici por parte de los peatones**

En los carriles bici que están situados en la acera (sin ningún tipo de separación física, tan sólo señalados con pintura en el suelo) es fácil encontrar a peatones que se distraen e invaden continuamente el carril bici. Un claro ejemplo sería el del carril bici de Diagonal, en Barcelona:



Figura 18. Carril bici en Diagonal, Barcelona (fotografía de TheNBP)

Teniendo en cuenta el tráfico de peatones que suele haber por esta calle, no es difícil encontrar a gente que ha invadido el carril bici para adelantar a un grupo de personas; en ocasiones, simplemente la gente no se da cuenta de que ha invadido el carril bici.

5.3. Herramientas de los teléfonos móvil a nuestra disposición y requisitos de la aplicación móvil

Actualmente los dispositivos móviles más comunes cuentan con una serie de herramientas que pueden ser de gran utilidad para el diseño de la aplicación móvil.

A continuación se explicará de forma breve y concisa los sensores que utilizaremos para la detección de accidentes. De entre todos los sensores que dispone un teléfono móvil, estos han sido escogidos a causa de su utilidad para este aspecto concreto (detección de accidentes). Los estudios hechos sobre este campo ya han empezado a hacer pruebas para ver su fiabilidad y su posible implementación para la reducción de la siniestralidad en ciclistas, y han dado buenos resultados.

5.3.1. Sensores del teléfono móvil

Acelerómetro

Mide la aceleración en los 3 ejes. Se puede utilizar para que detecte únicamente la fuerza de la gravedad, únicamente la aceleración lineal del dispositivo en cada eje o ambas a la vez.

Para nuestra app concreta es de especial utilidad, ya que cuando se produce un accidente o caída la velocidad aumenta de forma súbita y por lo tanto aparecen aceleraciones muy grandes. A través de la detección de este cambio brusco en la aceleración (junto con otra serie de cambios más) se puede detectar un accidente de tráfico.

Giroscopio

Indica la rotación alrededor de los 3 ejes respecto a la posición original. También puede medir la velocidad de rotación alrededor de cada uno de los 3 ejes. Así pues, en caso de que el móvil cambie de posición de forma brusca será detectado.

Ya que la aplicación tiene la función de detectar accidentes de tráfico graves, este sensor será de utilidad al detectar que el teléfono móvil (y por ende la bicicleta y el ciclista) cambian de posición (giran) respecto a la original. Esto se da, por ejemplo, cuando un ciclista es atropellado por un coche y a causa del impacto, salta por los aires. Puesto que la probabilidad de que el ciclista salga proyectado en una línea recta perfecta sin experimentar ningún tipo de giro, el teléfono móvil será capaz de detectar la rotación experimentada.

5.3.2. Requisitos

A partir de las necesidades que queremos aplacar y de las distintas funciones especiales con las que cuenta un teléfono móvil común, podemos pensar las distintas funciones que podemos incluir en la app móvil y cuáles son sus requisitos.

Sin embargo, antes de empezar con las posibles funciones de la app, se debe explicar cual es la posición pensada para el teléfono móvil, ya que esto tendrá un impacto en cuanto a los algoritmos y funciones que se implementarán después.

Lo primero que hay que entender es como están dispuestos los ejes en los sensores de detección de los teléfonos móviles:

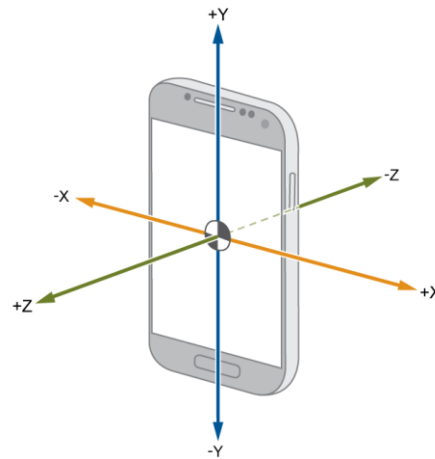


Figura 19. Disposición de los ejes en los sensores de los teléfonos móviles [39]

Ya que los datos recopilados por muchos estudios sobre la detección de accidentes de ciclismo mediante el uso de teléfonos móviles han recopilado los datos llevando el móvil sujeto en el manillar de la bicicleta mediante un soporte, se ha optado por seguir por la misma línea de trabajo y adoptar la misma posición, tal y como se muestra en la siguiente imagen:

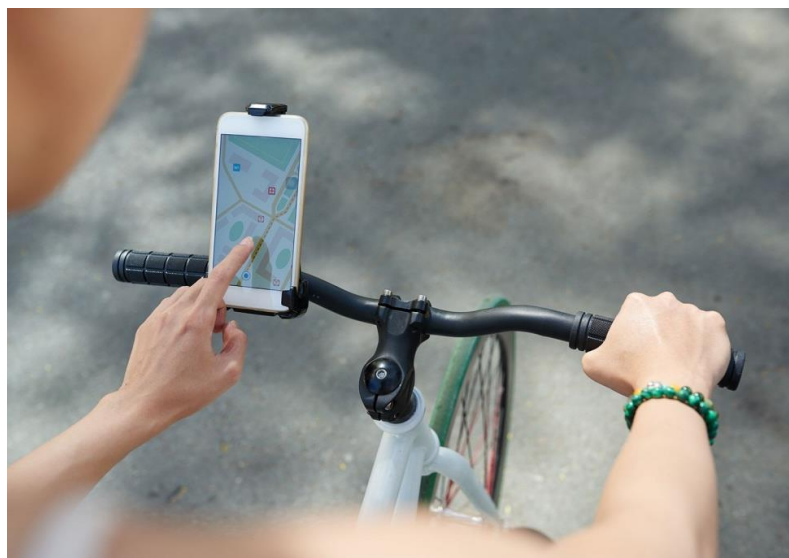


Figura 20. Posición del teléfono móvil sobre el manillar de la bicicleta

Así pues, tal y como va colocado el teléfono móvil en la bicicleta, la dirección del eje z es el mismo que el eje de movimiento:

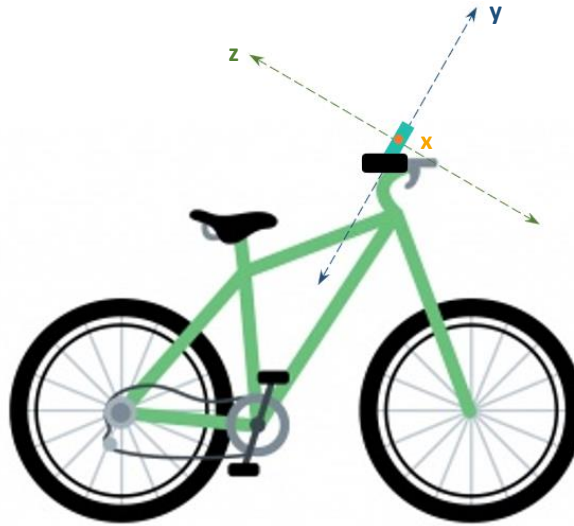


Figura 21. Posición del teléfono móvil y ejes del sistema en la bicicleta

Es importante que haya un cierto consenso en cuanto a la posición del teléfono móvil, ya que los datos recogidos sobre accidentabilidad en otros estudios anteriores y los algoritmos introducidos a continuación dependen de la posición (ejes) del teléfono móvil. Por lo tanto, con tal de garantizar el buen funcionamiento de la aplicación, se debe llevar el teléfono móvil en una posición similar a la que tenía en las pruebas hechas, ya que los datos recopilados en anteriores trabajos serán utilizados para la creación de esta aplicación móvil.

En el caso de llevar el dispositivo en el bolsillo del pantalón o de la chaqueta, la posición sería totalmente distinta y los algoritmos no detectarían de forma correcta los accidente.

5.4. Funciones de la app

El objetivo de la aplicación móvil es intentar aplacar cada uno de los motivos principales por los que se producen los accidentes entre ciclistas con tal de reducir la siniestralidad. Después de haber hecho un estudio sobre cuales suelen ser las causas principales de los accidentes en ciclistas, se puede empezar a pensar en como reducir su impacto o incluso evitarlas. Sin embargo, en algunos casos puede ser complicado llegar a una buena solución teniendo en cuenta los recursos y la colaboración entre distintas áreas disponibles.

A continuación se nombrarán las funciones pensadas para la aplicación móvil, la razón por las que se han decidido implementar, si utilizan alguna función especial (como el acelerómetro) y como funcionarán. También se hará referencia a trabajos y estudios pasados, en los cuales se obtuvo información relevante para la causa y que ha sido utilizada en este trabajo.

5.4.1. Información básica

Tal y como hemos podido ver en el apartado 3.2.1. en el que se hablan de las principales causas de los accidentes propios, la lista de causas es muy variada. Sin embargo, se puede diferenciar entre 2 tipos de causas: las provocadas por agentes externos y despiste del usuario (resbalarse por grava en el suelo, choque con bolardos) y las que el motivo principal es una falta de cuidados básicos en la bicicleta (ruedas deshinchadas, fallo en los frenos). Con esta primera función de la app el objetivo es aplacar el segundo tipo nombrado.

Mediante una página simple de texto se puede agrupar una serie de información útil para el usuario, que puede ir desde cómo y cuando se debe hinchar las ruedas de la bicicleta a como engrasar correctamente la cadena. Aprovechando esta función también se añadirá otro tipo de información útil, como por ejemplo cuál es la altura correcta a la que quede estar ajustado el sillín, posición óptima de las manos en el manillar, etc. De esta forma también se pueden corregir malas posturas que puedan conllevar a problemas futuros.

Finalmente, la información que se mostrará en la app será la mostrada a continuación. Toda la información recopilada ha sido extraída de múltiples páginas web ciclistas ([40], [41], [42]) y supervisada por individuos con experiencia ciclista.

- Hinchar las ruedas

Cuando	Lo ideal es revisar la presión de las ruedas 1 vez al mes, e hincharlas si es necesario. Esto se debe hacer tanto si se utiliza a diario o esporádicamente, ya que las ruedas se van deshinchando con el tiempo.
Como comprobar la presión en las ruedas	<p>Comprobar presión con aparato (manómetro individual o incluido en la bomba): rueda en frio, nunca en caliente</p> <p>Comprobar presión con las manos: apretando la rueda con los dedos se puede comprobar de forma orientativa si la rueda tiene demasiada o muy poca presión. Sin embargo es un método poco exacto, y según la dureza de las cubiertas de la rueda puede dar la impresión que no es.</p>

Cuanto	<p>Valor varía en función del tipo de ruedas, peso del ciclista + bicicleta y terreno por el que se circula.</p> <p>Cuanto mayor peso → más presión necesaria</p> <p>Terreno rugoso de montaña → menos presión</p> <p>Mirar recomendación del fabricante: en la rueda tiene que estar indicada la presión máxima y mínima a la que debe estar hinchada. Nunca se debe superar el valor máximo, o estar por debajo del valor mínimo.</p> <p>Así pues, no hay un valor exacto para cada persona. Lo mejor es ir probando hasta encontrar que presión de ruedas se adapta mejor a ti. Sin embargo, hay que tener en cuenta las siguientes indicaciones:</p> <ul style="list-style-type: none">- Presión demasiado alta: rueda rebota en baches, no hay buen agarre en curvas- Presión demasiado baja: sensación de inseguridad en curvas (rueda se mueve ligeramente), fácil pinchar por pellizco (llanta toca el suelo y corta neumático) <p>Si notas alguno de estos problemas, lo mejor es que subas o bajes la presión en las ruedas hasta que dejes de tenerlos.</p>
---------------	---

Por último, se incluirá un conversor de BAR a PSI, ya que en ocasiones las unidades de medida de presión no son las mismas en el aparato con el que se hinchan las ruedas (bomba propia o de gasolinera) que en las indicaciones de la rueda. Con tal de facilitar el proceso al usuario y evitar frustraciones, se incluye un conversor automático con tal de que se obtenga el resultado de forma inmediata.

- **Ajustar la altura del sillín**

Súbete a la bicicleta, y coloca el talón del pie sobre el pedal. La altura correcta del sillín es aquella que hará que la pierna esté totalmente recta.

- **Limpiar y engrasar correctamente la bicicleta**

La bicicleta se puede limpiar con la manguera para ahorrar tiempo, pero hay que ir con cuidado de no rociar al cambio de la bicicleta.

Después de limpiarla se debe limpiar y engrasar la cadena. Para hacerlo, lo más fácil es levantar o girar la bicicleta (para que las ruedas no toquen al suelo) y echar desengrasante en algún punto de la cadena. Con una mano sostienes un trapo contra la cadena, y con la otra mano vas girando el pedal para que toda la cadena quede limpia por el trapo.

Para engrasarla, hay que echar un par de gotitas de aceite en algún punto interior de la cadena. A continuación se giran los pedales para que el aceite cubra bien todos los sitios.

Cuando se debe limpiar: cuando cadena esté negra. ¡Importante!: El aceite no debe tocar el disco de freno, ¡sino no frenará!

- **Cuidados, ajuste y posición correcta de los frenos**

Los frenos deben ir en posición horizontal en el manillar.

Como comprobar si los frenos están bien ajustados:

- Muy fuertes: Al levantar la bicicleta (ruedas no tocan el suelo) y girar los pedales, se puede oír como el freno está funcionando a pesar de que nosotros no lo estamos tocando. Esto significa que las ruedas siempre se están frenando un poco, y por lo tanto nos costará mas esfuerzo pedalear. También implica que el disco de freno se gastará antes.
- Muy flojos: notarás que al ir en bicicleta y frenar, no frena todo lo que debería.

- **Cuando cambiar cubierta ruedas**

La cubierta de las ruedas se va desgastando con el tiempo, lo cual puede propiciar falta de adherencia, facilidad para pinchar, etc.

Hay varias señales de que hay que cambiarlas:

- Si la rueda tiene relieve (ya sea superficial o tacos) y está muy desgastado
- Si has pinchado múltiples veces en poco tiempo
- Si hay grietas
- Si se pueden ver o intuir hilos o alambres: la estructura de la cubierta está formada por hilos metálicos o de otro material; si puedes verlos, es señal de que la cubierta está muy desgastada

La información recopilada es una selección general sobre los cuidados más básicos que necesita una bicicleta, con tal de introducir al usuario común sobre los conocimientos esenciales que se deben tener para poder utilizar la bicicleta con cierta seguridad. La idea principal es no agobiar al usuario con demasiada información, ya que conseguiríamos el efecto contrario al deseado: desinterés por su parte y acabasen por no informarse sobre nada.

Mediante la proporción de esta información básica se pretende que el usuario sea capaz de evitar ciertos errores básicos pero muy comunes, y que suelen acabar produciendo accidentes. Un ejemplo sería llevar las ruedas demasiado deshinchadas, lo cual produce inestabilidad en curvas y pinchazos, y puede acabar produciendo una caída.

Toda la información nombrada será incluida en la aplicación, en una pestaña específica para que esté toda agrupada y guardada dentro de la app. La idea es que los usuarios puedan acceder a ella cuando quieran sin necesidad de tener conexión a internet, lo cual será de especial utilidad en lugares concretos en los que no se tenga una buena conexión (excursiones en la montaña, por ejemplo).

5.4.2. Detector de accidentes

A pesar de que los accidentes causados por colisiones con vehículos motorizados sólo suponen un 30% del total, son los que suelen tener las repercusiones más graves. El ciclista, al chocar contra un vehículo que va gran velocidad, suele salir disparado y acaba chocando contra una superficie dura (suelo, vehículo, etc). Al no llevar un sistema de protección adecuado para estos casos, los daños producidos suelen ser graves, requiriendo la hospitalización del paciente.

En este tipo de accidentes, una parte clave en el tratamiento del paciente es la rapidez con la que llegan y actúan los servicios sanitarios. En la mayoría de casos un testigo, el conductor del vehículo que ha causado el accidente o incluso el accidentado con los que se encargan de llamar a emergencias; sin embargo, en ocasiones se da la situación en la que el accidente ocurre en un sitio apartado, el conductor se da a la fuga y el accidentado está gravemente herido. En estos casos se depende de otro vehículo que pase por la zona y vea al accidentado; si esto no llega a ocurrir, no será socorrido y su vida puede estar en grave peligro.

Tal y como hemos visto en el apartado 2, ya hay varios métodos para detectar accidentes de tráfico e intentar proteger al ciclista. El primero es el casco inteligente, el cual se infla y llama a emergencias en cuanto se produce el choque. La aplicación de móvil *Bicicrash* también tiene una función similar y avisa a emergencias en caso de impacto. Esta función es de gran utilidad, ya que no se depende de ninguna persona para avisar a emergencias, ya que el caso o móvil se encarga de hacerlo de forma automática.

La idea es introducir un sistema de detección y aviso similar a los nombrados en la aplicación móvil que se diseña en este trabajo. Así pues, a continuación estudiaremos que investigaciones se ha hecho al respecto hasta el momento, con tal de averiguar cómo funciona el sistema y poder implementarlo.

5.4.2.1. Investigación

Con tal de incorporar esta función en la app móvil hay una serie de pasos que se deben seguir, empezando por saber que herramientas del teléfono móvil se utilizarán para detectar el choque.

Cuando pensamos en un accidente de tráfico, hay una parte común en todos los accidentes: cuando se produce el impacto, hay un pico de aceleración a causa de este. En la gran mayoría de teléfonos móviles actuales hay incorporado un acelerómetro capaz de medir este gradiente de aceleración que se produce con el choque. Así pues, la investigación se centrará en cómo utilizar el acelerómetro de los móviles con tal de poder ayudarnos en la detección de accidentes de tráfico.

Sin embargo, otra parte fundamental y necesaria con tal de llegar al sistema de detección de accidentes es la recopilación de datos. Ya que el objetivo es la detección de accidentes de tráfico, los datos a obtener deberían ser referentes a ellos. Teniendo en cuenta los recursos disponibles y la situación de reclusión actual a causa del COVID-19, la recopilación de datos en accidentes de ciclistas deberá ser estrictamente mediante el uso de datos proporcionados por otros estudios previos.

Durante los últimos años se ha estado investigando de forma activa desde universidades con tal de llegar a una conclusión sobre cómo utilizar el acelerómetro de los teléfonos móviles con tal

de detectar los accidentes de tráfico, y cuál es la forma óptima de hacerlo. Así pues, hay un banco de datos disponible sobre el que trabajar.

Datos disponibles

En 2014 una serie de instituciones universitarias y hospitales suecos se unieron para hacer pruebas de accidentes de bicicleta con maniqués, y utilizando un smartphone, recopilaron información referente a la aceleración y rotación del maniquí durante el accidente. En el estudio [43] utilizaron 6 escenarios diferentes de accidente, en los cuales la velocidad del ciclista y la superficie contra la que caía o chocaba tenía diferentes durezas. Finalmente, con tal de comparar los resultados obtenidos en un accidente con los datos obtenidos durante un trayecto en bicicleta sin incidencias, recopilaron información de un total de 5.5h de trayectos normales.

En este estudio también decidieron utilizar el giroscopio incorporado en el teléfono móvil con tal de medir la rotación experimentada, ya que tras el choque se producen caídas que se pueden medir mediante la rotación del ciclista o bicicleta. A continuación se pueden ver los resultados obtenidos en condiciones de circulación normales, tanto de la aceleración como de la rotación experimentados:

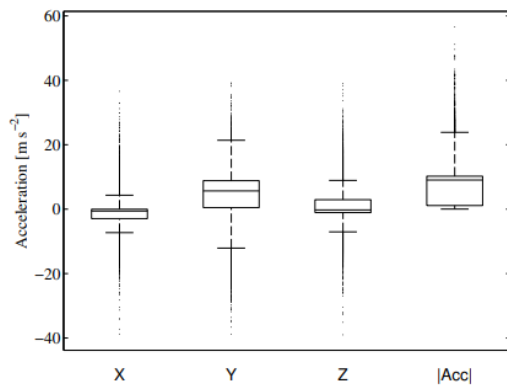


Gráfico 12. Resultados sobre las aceleraciones experimentadas en circulación normal.

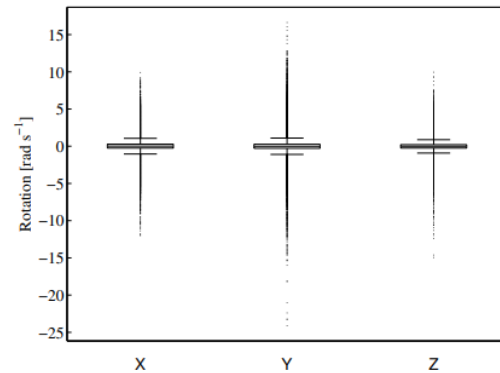


Gráfico 13. Resultados sobre la rotación experimentada en circulación normal

Los valores de la aceleración obtenidos muestran la fuerza de aceleración en cada uno de sus ejes sin tener en cuenta la aportación de la fuerza de gravedad. Por otro lado, los valores obtenidos por el giroscopio muestran la velocidad de rotación alrededor de cada uno de sus ejes. Los valores son representados según el eje de coordenadas en el que han sido detectados, y en el caso de la aceleración también se proporciona el valor del módulo de los 3 ejes, calculado mediante la siguiente fórmula:

$$|Acc| = \sqrt{Ac_x^2 + Ac_y^2 + Ac_z^2}$$

La línea en el centro de cada caja representa la mediana, y los extremos superior e inferior representan los percentiles 25 y 75. Los bigotes se extienden hasta los valores máximos y mínimos válidos obtenidos, marcados con líneas horizontales. Como se puede ver, los valores obtenidos en condiciones normales no se alejan mucho del 0.

Otro estudio hecho por Brian Williams en 2018 [44], en el cual también se hicieron pruebas con el acelerómetro del móvil en los accidentes de bicicleta, también cuentan con múltiples datos

sobre la conducción normal de los ciclistas. Al igual que el estudio anterior, la forma que utiliza para mostrar la aceleración obtenida es mediante el módulo de los resultados obtenidos en los 3 ejes (formula 1).

A continuación se pueden ver algunos de los resultados obtenidos, en los que cada gráfico representa un ciclista durante un recorrido en el que no se produjo ningún tipo de anomalía:

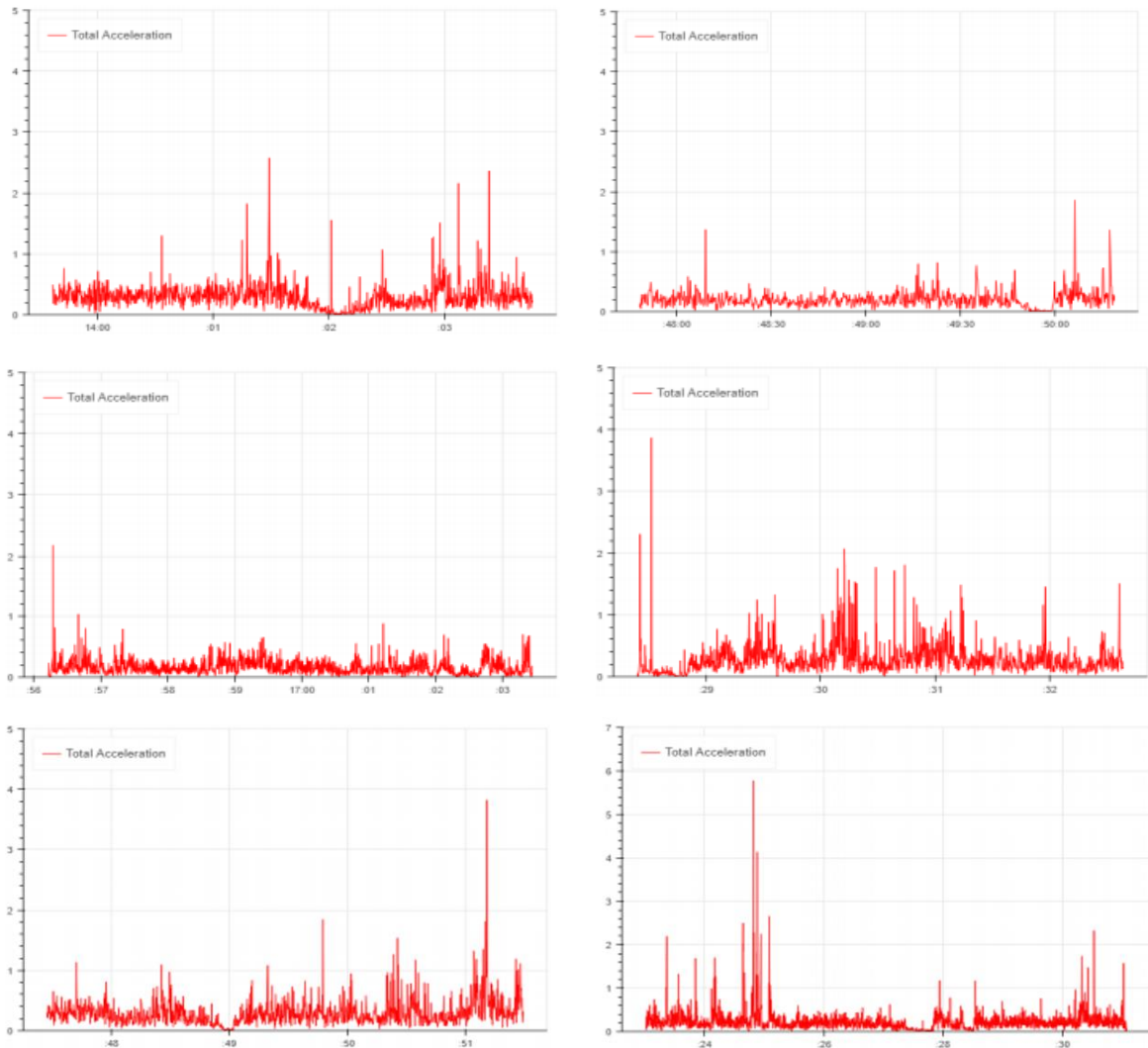


Gráfico 14. Datos sobre el cambio en el módulo de las aceleraciones durante paseos normales en bicicleta

Por contra, gráfico 15 se pueden observar los resultados obtenidos en uno de los accidentes que produjeron en el laboratorio a manos del estudio sueco [43]:

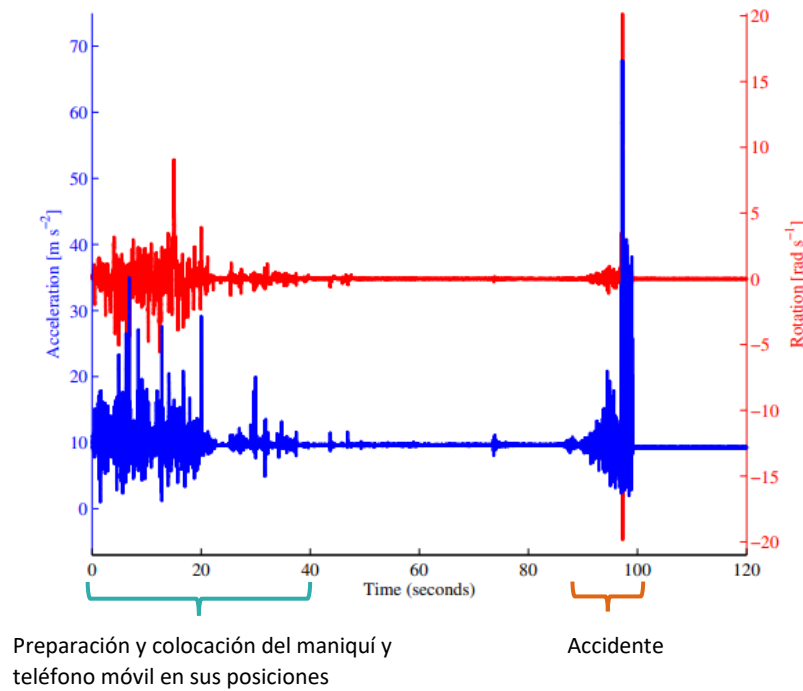


Gráfico 15. Resultados sobre las aceleraciones y velocidades de rotación experimentadas durante un accidente

En el gráfico se pueden observar de forma simultánea como cambian con el tiempo los valores del módulo de las fuerzas de aceleración (en azul) y la velocidad de rotación en el eje x.

Al ver estos resultados, hay que hacer una distinción en cuanto a los valores obtenidos, ya que durante los primeros 40 segundos los cambios en la aceleración y rotación son debidos a la preparación y colocación del teléfono móvil y el maniquí.

Sin embargo, si nos fijamos en los resultados obtenidos durante el accidente (entre los 90 y 100 segundos), se puede observar un pico de aceleración y velocidad de rotación, que coincide con el momento de impacto del ciclista. Estos resultados obtenidos en el momento del choque sobresalen notablemente respecto a los resultados obtenidos cuando no se produce ningún tipo de accidente, y se pueden utilizar como indicativo de que se ha producido un accidente.

Algoritmo de detección

Una vez se han obtenido datos sobre choques y actividad normal, se puede empezar a pensar en el algoritmo de detección de accidentes. Este se tiene que diseñar con tal de que sea capaz de detectar cuando se ha producido un impacto, y no confundirlo con otro tipo de actividad normal que pueda ocurrir.

En la actualidad la investigación referente a los algoritmos para la detección de choques en ciclistas es reducida, ya que este campo es relativamente nuevo a causa de la poca antigüedad que tiene la tecnología necesaria para su desarrollo. Otro factor que tiene un gran efecto en la falta de información sobre que algoritmo es el óptimo para estos casos es la falta de datos fiables sobre accidentes en bicicleta. A pesar de que se han hecho pruebas con muñecos en laboratorio, estos datos no son representativos sobre los accidentes que se producen en la vida real.

De la misma forma, al no haber una monitorización global de los teléfonos móviles de los ciclistas, cuando se producen accidentes reales no se tiene acceso a los datos del acelerómetro y giroscopio de ese usuario. La solución a este problema es “sencilla”, pero conlleva tiempo; en el momento en el que haya un método de detección de accidentes a través del teléfono móvil y un porcentaje importante de ciclistas tengan acceso a él, se empezarán a obtener datos sobre accidentes reales. En ese momento se podrá poner a prueba de nuevo el algoritmo de detección de accidentes, y cambiarlo por otro en caso de que haya opciones mejores.

Sin embargo, hasta que se obtengan suficientes datos, se debe empezar por escoger un algoritmo que (con los datos actuales) cumpla su función. En los 2 trabajos anteriormente nombrados, utilizan un sistema de límite inferior en el valor del módulo de la aceleración como señal de que se ha producido un choque:

$$Ac_t = \sqrt{Ac_x^2 + Ac_y^2 + Ac_z^2} \geq A_{accidente}$$

Cuando el módulo de las aceleraciones Ac_t iguala o supera un cierto valor predeterminado $A_{accidente}$, se considera que ha ocurrido un choque. Ya que el objetivo actual es la detección de accidentes de una cierta gravedad (en los que la velocidad de impacto es alta), el valor de $A_{accidente}$ será alto también, y por lo tanto los pequeños picos de aceleración que se puedan producir en un recorrido de bicicleta normal no pasarán este filtro.

Sin embargo, anteriormente hemos podido comprobar en caso de accidente no sólo se produce un cambio brusco en la aceleración, sino también en la velocidad de rotación. Esto es debido a que el ciclista salta por los aires justo después del impacto, o cae al suelo de forma brusca. Así pues, también utilizaremos los datos de rotación para la detección de accidentes: de la misma forma que calculamos el módulo de la aceleración, calcularemos el de la rotación detectada y, cuando este valor sobrepase un valor frontera ($R_{accidente}$), se considerará que se puede haber producido un accidente.

Claro está, para considerar que se ha producido un accidente, se deben dar estas 2 condiciones a la vez: debe superarse a la vez los valores impuestos de aceleración y de rotación.

Sin embargo, con tal de reducir el número de avisos falsos y llamadas innecesarias a emergencias, una vez se haya detectado un accidente (mediante estos 2 filtros impuestos) saltará un aviso de color amarillo en la pantalla del teléfono móvil del usuario acompañada de un sonido a un volumen alto. En este aviso, que durará 30 segundos, se dará la opción de que se cancele la alarma por accidente y por lo tanto no se llame a emergencias. Si pasados los 30 segundos no se ha parado el aviso, se avisará automáticamente a emergencias y a los contactos que haya determinado previamente el usuario. La información que se enviará en caso de accidente será un pequeño mensaje explicativo y la ubicación del accidentado.

Tal y como se ha comentado anteriormente, los algoritmos usados están bajo “supervisión temporal”. Una vez se empiecen a obtener datos reales sobre accidentes, se podrá estudiar si los algoritmos utilizados se adaptan bien al reconocimiento de los accidentes de tráfico en ciclistas, y en caso de que no sea así se adaptarán o cambiarán.

5.4.3. Mapa con información de interés para el usuario

A pesar de que la función de detección de accidentes ayudará a los usuarios a recibir atención médica con más rapidez, este sistema no contribuye a la prevención de los accidentes en sí; actúa una vez el accidente ya ha ocurrido. Lo ideal sería crear un sistema que fomente la prevención de accidentes con tal de que los usuarios se sientan más seguros yendo en bicicleta.

Ya que se tendrá una gran biblioteca de información relacionada con accidentes en ciclistas (ubicación, tipo de accidente, y fecha/hora), se podría utilizar con tal de beneficiar a los propios ciclistas: muchos de los accidentes que se producen vienen predispuestos por una serie de condiciones preexistentes, como puede ser un bolardo mal colocado y que por lo tanto sea poco visible, gravilla en el carril colocado al lado de un parque infantil, etc. Estos elementos son “fijos” en el carril, y pueden ser potenciales responsables de múltiples accidentes en ciclistas.

En estos casos, al ser el principal motivo un agente externo al ciclista, en ese punto conflictivo se producen muchos más accidentes de bicicleta que en otros lugares. Siguiendo esta línea de pensamiento, la propuesta es hacer un mapa donde quede marcada la posición de los puntos donde suelen ocurrir accidentes. En un punto concreto donde la tasa de accidentabilidad sea más alta de lo normal, se marcará en el mapa como punto negro:

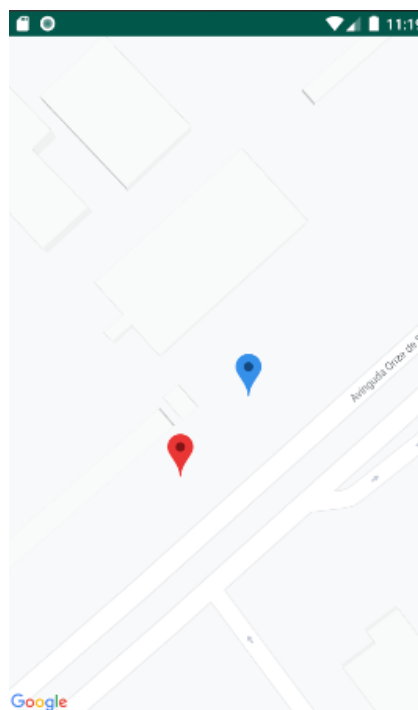


Figura 22. Mapa con localización del usuario (en azul) y punto negro (en rojo) marcado

Esto será posible hacerlo mediante la recopilación de datos de accidentes de los ciclistas que utilicen la app. Mediante la comparación de los datos obtenidos, se podrá saber cuáles son los puntos más conflictivos.

Además de incluir la posición de los puntos más problemáticos para los ciclistas, también se puede añadir otro tipo de información de utilidad para el usuario; por ejemplo, podrían quedar marcadas las gasolineras y otros puntos de hinchado de ruedas, zonas de aparcamiento y zonas de alquiler de bicicletas como podría ser el *bicing* en Barcelona. Sin embargo, de momento nos

centraremos en los puntos problemáticos para ciclistas y que son detectables de forma automática por la aplicación.

5.4.3.1. Implementación de los puntos negros

Tal y como hemos visto en apartados anteriores, mediante los algoritmos de reconocimiento el teléfono móvil del usuario es capaz de detectar cuando se produce un accidente o anomalía de interés. Estos datos sobre los accidentes y otros problemas son enviados por el teléfono móvil y quedan registrados en el servidor, donde quedan clasificados según el tipo de incidencia ocurrida.

Sin embargo, en el mapa no deben marcarse cada una de las incidencias ocurridas, ya que entonces el mapa estaría cubierto con puntos donde se han producido accidentes y no sería de utilidad. El objetivo es detectar las zonas donde la ocurrencia de accidentes es mayor, y que solamente estas zonas queden marcadas en el mapa.

Con tal de conseguirlo, primero se estudiarán los criterios que utiliza la DGT en España para considerar que un punto o tramo de carretera es peligroso. A pesar de que estos últimos se refieren a vehículos motorizados, la idea tras la detección y señalización de los puntos negros para ciclistas es la misma y por lo tanto nos podemos apoyar en su razonamiento para poder implementar nuestro método.

La DGT distingue entre 2 tipos de clases de puntos peligrosos: los puntos negros y los tramos de concentración de accidentes. A continuación se muestra la definición de cada uno de ellos [45], [46]:

- **Punto negro**
Emplazamiento perteneciente a una calzada de una red de carreteras en el que durante un año natural se hayan detectado 3 o más accidentes con víctimas con una separación máxima entre uno y otro de 100 metros.
- **Tramo de concentración de accidentes**
Siguiendo el criterio del Ministerio de Fomento, se define como *tramo de 1km en el que, tanto el número de accidentes con víctimas en los últimos 5 años como el índice de peligrosidad medio en ese periodo, sea superior a la media del conjunto de tramos con características similares.*

Tal y como se puede comprobar, en ambos casos se considera una zona peligrosa cuando se supera un cierto valor frontera. En el caso de los puntos negros es un número fijo para cualquier punto en España, y en el caso del tramo de concentración de accidentes el valor umbral varía en función del tipo y características de la vía. Por lo tanto, para aplicar estos criterios en el caso de las bicicletas, deberíamos tener en cuenta unos valores similares.

Sin embargo, con tal de poder fijar estos valores frontera es vital tener una gran base de datos de los accidentes ocurridos en función de su gravedad, y lugar y momento en el que se produce el accidente. Finalmente, también se debería disponer de los datos sobre la densidad de tráfico ciclista aproximada que hay en cada zona.

A día de hoy la base de datos de los accidentes en ciclistas no es tan extensa, y por lo tanto no es posible hacer una distinción tan clara sobre lo que se considera un punto negro como en el

caso de los vehículos motorizados. Aunque este es un problema temporal (ya que a medida que se le vaya dado uso a la aplicación, se irán recopilando datos hasta tener una base suficientemente extensa), durante el periodo inicial de la aplicación no habrá suficientes datos con los que poder trabajar y por lo tanto no se podrán especificar de una forma fiable los puntos negros sobre el mapa.

Así pues, se plantean dos situaciones distintas: el periodo inicial en el que no hay suficientes datos, y el periodo siguiente en el que ya se han recopilado suficientes datos sobre la accidentabilidad. A continuación se explicará el procedimiento a seguir en cada uno de los casos nombrados:

Periodo final y definitivo: banco de datos suficientemente grande

Este será el periodo en el que, pasado un tiempo desde el inicio del uso de la aplicación entre la población, ya se habrá recopilado un número suficientemente alto de datos sobre accidentes. Así pues, tomando como punto de partida los criterios utilizados para la detección de *tramos de concentración de accidentes* y de *puntos negros* en España, se puede extrapolar para marcar los puntos más peligrosos para los ciclistas.

A pesar de que los criterios para la detección de los *tramos de concentración de accidentes* permiten una detección más fiable de los tramos peligrosos, requiere un estudio en más profundidad sobre las condiciones y la tipología de los carriles bici. Si a esto añadimos que los ciclistas también pueden circular por la carretera o acera, el campo de estudio se amplía de forma drástica.

Por ello, en un primer momento se puede optar por un criterio similar al de la detección de *puntos negros*: se marca un valor límite a partir del cual se considera que un pequeño tramo es peligroso para los ciclistas. En nuestro caso, una vez se tenga el banco de datos sobre los accidentes en ciclistas, se podría iniciar el estudio para determinar cual debería ser el valor de ese número límite.

Periodo inicial: falta de datos

Tal y como se ha comentado, durante el periodo inicial de uso de la aplicación el número de datos recopilados de accidentes en ciclistas será muy bajo. En el momento en el que se empiece a utilizar la aplicación no habrá ningún dato recopilado, y a partir de ese momento y en función del número de usuarios que utilicen la app, el banco de datos irá creciendo.

Sin embargo, hasta que se llegue al punto donde la cantidad de datos recopilados sea lo suficientemente grande, no habrá una forma fiable de detectar y especificar la posición de los puntos negros. A pesar de que una opción sería no marcar nada en el mapa hasta tener un banco de datos fiable, esto podría ser contraproducente: la aplicación podría perder parte de su atractivo hacia los usuarios, que decidirían no utilizarla por la falta de información. Si ese fuese el caso, se tardaría más tiempo para llegar al punto donde la base de datos es lo suficientemente extensa.

Así pues, lo ideal sería buscar una solución lo suficientemente buena para este periodo, donde (a pesar de que no fuesen fiables al 100%) hubiese puntos potencialmente peligrosos marcados en el mapa.

Ya que en España se producen alrededor de 8000 accidentes ciclistas al año [11], se podría empezar marcando en el mapa todos los accidentes que se van recopilando con la aplicación (los cuales serán una pequeña fracción del número total de accidentes, ya que no todos los ciclistas decidirán utilizar la app). Al ser un número relativamente bajo, no será difícil marcar cada uno de esos puntos ni habrá una densidad de puntos tan grande como para cubrir el mapa y agobiar al usuario.

A medida que se vayan recopilando los datos, se empezará a distinguir cuales son las zonas con mayor accidentabilidad, y se podrá empezar a distinguir entre zonas más o menos peligrosas. Finalmente, con el paso del tiempo, se podrá llegar a la situación final en la que ya se puede establecer bien el criterio de los puntos negros.

5.4.4. Información sobre el funcionamiento de la app

A diferencia de las otras funciones que tiene la aplicación móvil, esta parte de la app no tendrá una funcionalidad relacionada con mejorar la seguridad de los ciclistas; su objetivo será explicar de una forma concisa el objetivo de la app y su funcionamiento con tal de que los usuarios entiendan mejor el contexto de la aplicación.

En este simple apartado de la app tan sólo constará de un pequeño texto explicativo, que es el mostrado a continuación:

¿Cuál es el objetivo de la app?

El objetivo principal de la app es ayudar a reducir los accidentes entre ciclistas, ya bien sea por errores o choques propio o a causa de colisiones con vehículos. La información que se encuentra en el apartado de *información básica para el cuidado de la bicicleta* tiene como objetivo informar al usuario ciclista y así evitar accidentes producidos por errores como no llevar las ruedas suficientemente hinchadas. Finalmente, el mapa con los puntos negros señalados pretende servir como aviso para el usuario y, que de esta forma, se pueda circular con especial cuidado por esa zona.

¿Cómo funciona?

- **Detección de accidentes de tráfico**

La aplicación, una vez entras en el modo del mapa, empieza a monitorizar los datos de aceleración y giro de tu teléfono móvil. De esta forma, cuando detecte unos cambios bruscos y muy elevados, la alarma de accidente se activa. A partir de ese momento, tienes 30 segundos para desactivarla. En caso contrario, la aplicación avisará de forma automática a emergencias.

- **Señalización de puntos negros en el mapa**

Una vez detectado un accidente, se envía un aviso a nuestro servidor conforme ha ocurrido. La información enviada es únicamente la referente al accidente producido: la ubicación, valores de aceleración, momento del accidente, etc.

Cuando se detecta que en una zona concreta ocurren muchos accidentes, ese lugar se marca en el mapa como punto negro.

5.5. Croquis visual inicial de la app

Una vez conocidas las principales características de la aplicación móvil, el siguiente paso es empezar con el diseño y la programación de la misma.

Con tal de ordenar mejor las ideas, e intentar pensar cual es el diseño más intuitivo para el usuario, se empezará por hacer un primer croquis de la aplicación: como estarán organizadas las funciones anteriormente descritas, y un primer diseño estético. A continuación se mostrará ese primer croquis de la app:

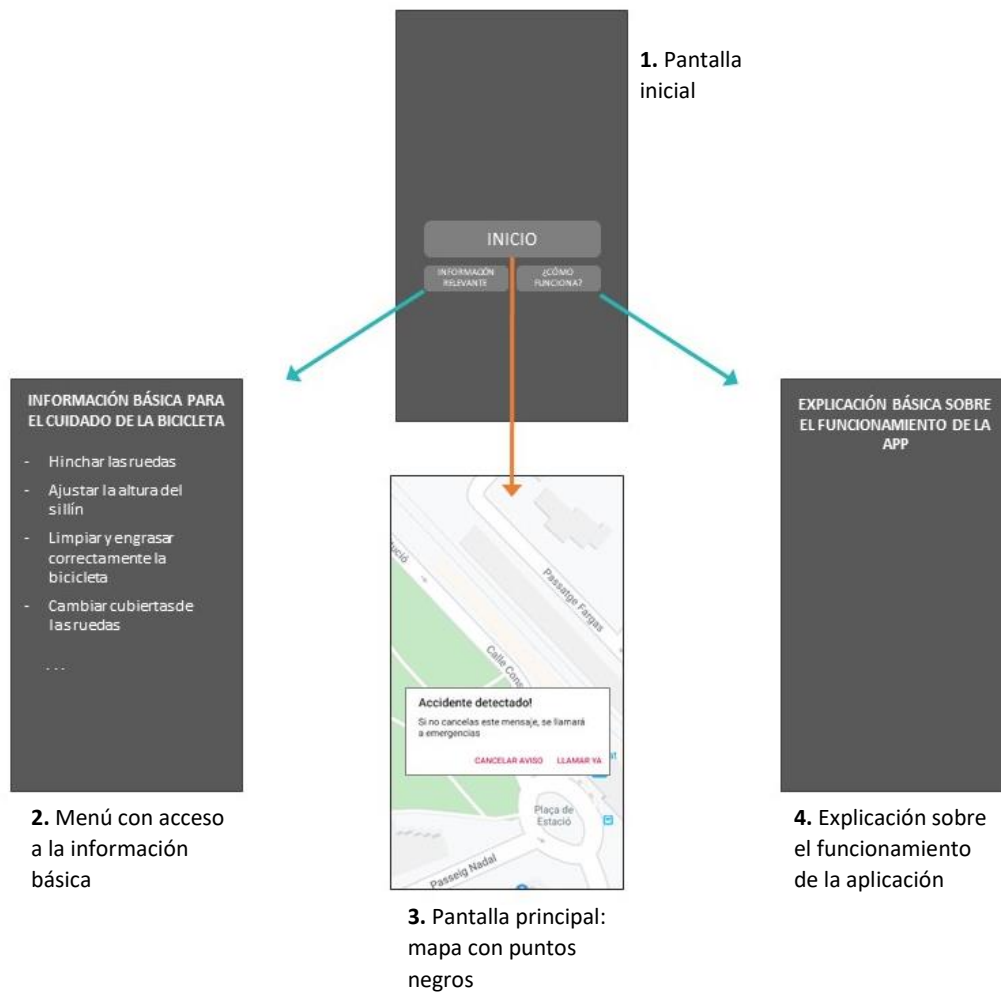


Figura 23. Croquis con las principales pantallas de la aplicación

Al abrir la app móvil, lo primero que aparecerá será la pantalla inicial (1). Tendrá un diseño muy sencillo, ya que su única función será acceder a las principales funciones de la aplicación. Tendrá 3 botones, y cada uno dará acceso a una función distinta.

El botón más grande, nombrado como "inicio" dará pie a iniciar la función principal de la aplicación (3), la cual es mostrar un mapa con los puntos negros cercanos al usuario. A la vez, también se activará la detección de accidentes. En un primer momento, se mostrará el mapa de la zona en la que se encuentra el usuario, y en caso de haber puntos negros a su alrededor,

también se mostrarán en el mapa. Una vez se detecte algún tipo de incidente, aparecerá un mensaje de alarma en la pantalla (como se muestra en la figura 25).

Justo debajo del botón que inicia el seguimiento del usuario, se encuentran 2 botones más pequeños. Cada uno dará acceso a otra de las funciones de la app, siendo estas secundarias.

El primero dará acceso a un menú con información de interés para el usuario, como puede ser hinchar las ruedas o ajustar la altura del sillín (toda la información está recopilada en el apartado 3.4.1.). Finalmente, el segundo botón llevará a una pantalla donde se explica de una forma simplificada cual es el funcionamiento y objetivo de la aplicación.

En cuanto al diseño estético se ha escogido un fondo oscuro con letras claras por 2 motivos principales:

- En caso de que el usuario decida utilizar la aplicación de noche, no sea deslumbrado por la luz blanca de la pantalla
- El gasto de batería es menor, dado que la pantalla no emite tanta luz

Finalmente, al tener las letras claras el texto sigue siendo legible y así la comodidad de lectura del usuario no se ve comprometida.

Este es un primer croquis en el que apoyar el inicio del diseño final de la aplicación, así pues puede que el diseño final cambie ligeramente respecto al inicialmente mostrado. A continuación se mostrará el proceso final de montaje de la app, tanto en términos de programación como de diseño final.

5.6. Programación, montaje y diseño final de la app

Siguiendo las indicaciones descritas en el apartado 3.4 de este trabajo, y con la guía del croquis visual descrito en el apartado 3.5 se procede a montar la app móvil.

Ya que la aplicación móvil está pensada para teléfonos Android, la aplicación se programa utilizando el programa de ordenador Android Studio con código Java. A continuación se describirá de forma breve cómo está programada la aplicación, y cómo funciona la detección de las incidencias anteriormente nombradas.

5.6.1. Información básica sobre la bicicleta y sus cuidados

Esta función de la app es una de las más sencillas, ya que son simplemente cuadros de texto con la información necesaria. Tal y como se han mostrado en el croquis anterior, se puede acceder a cada una de ellas (figuras 26 a 30) picando al botón que corresponda de la pantalla inicial:

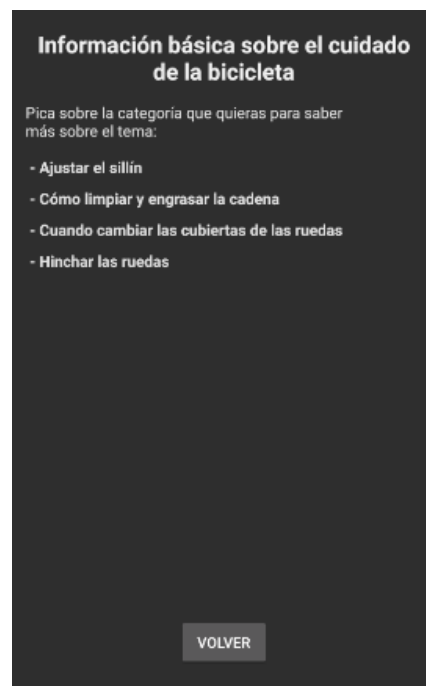


Figura 24. Menú sobre la información básica sobre el cuidado de la bicicleta

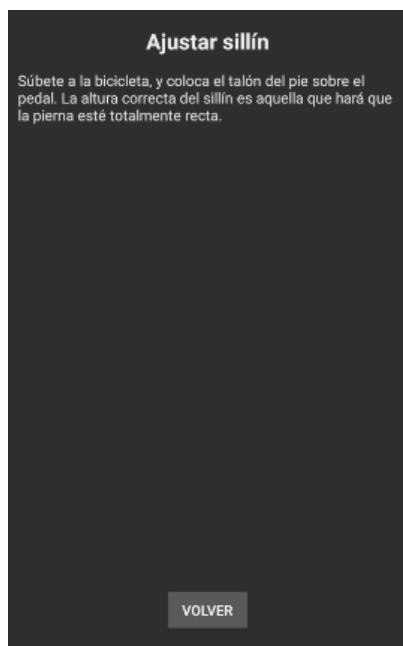


Figura 25. Información sobre como ajustar la altura del sillín

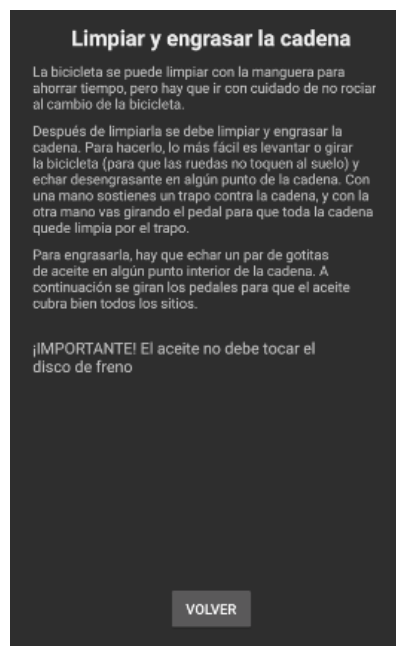


Figura 26. Información sobre como limpiar y engrasar la cadena

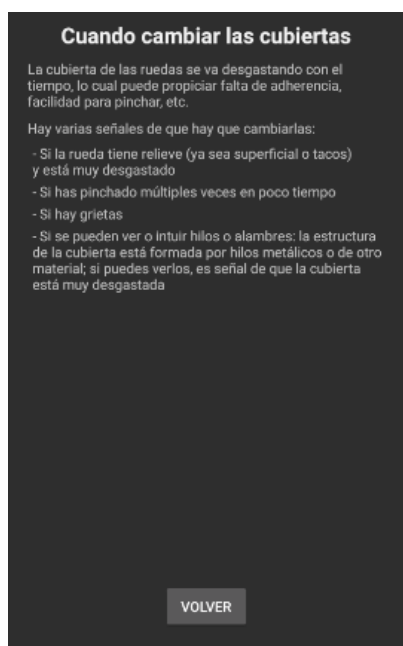


Figura 27. Información sobre cuando cambiar las cubiertas de las ruedas

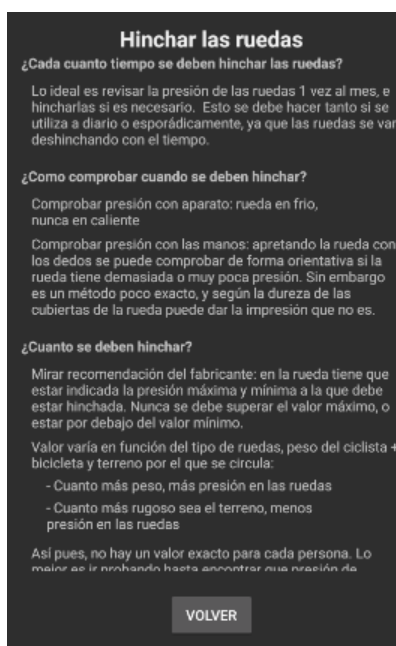


Figura 28. Información sobre como y cuando hinchar las ruedas

En el caso del apartado de *Hinchar las ruedas*, al haber tanta información, no cabe toda dentro de la pantalla. Con tal de poder verla toda, el usuario debe ir bajando por la pantalla con la ayuda de sus dedos. Tras toda la información, se ha incluido también un conversor de unidades (PSI a BAR y viceversa) con tal de facilitar al usuario el proceso de hinchar las ruedas:

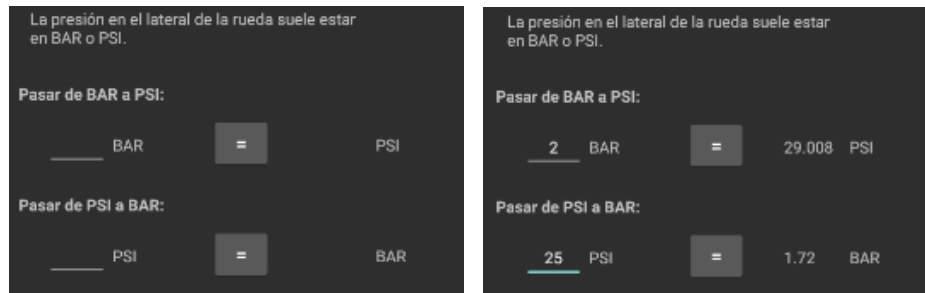


Figura 29. Conversor de BAR a PSI y viceversa

Cuando el usuario introduce el valor a convertir en el cuadro de texto y pica al botón, la aplicación multiplica el valor introducido por la tasa de conversión correspondiente, y muestra el resultado en el cuadro de al lado.

5.6.2. Detector de aceleración y giro del teléfono

Al programar la aplicación, uno de los principales problemas que se plantearon fue compaginar la función del mapa de Google con la detección de la aceleración y giro para la detección de los accidentes. Finalmente la solución por la que se optó fue crear un servicio de segundo plano que se encargase de detectar de forma continua los cambios en la aceleración y giro del dispositivo móvil, y estos datos se envían a la actividad principal donde se encuentra el mapa.

Así pues, al iniciar la aplicación y entrar en el mapa, la detección de estos parámetros se activa de forma automática. Los datos detectados son enviados de forma continua a la actividad principal donde se encuentra el mapa, y mediante los algoritmos de detección descritos en el apartado 3.4.2.1. el móvil es capaz de detectar cuando se ha producido una incidencia.

5.6.3. Actividad con el mapa

Esta es la parte principal de la aplicación, ya que será la que el usuario vea mientras está montado en la bicicleta y la que muestra la localización de los puntos negros cercanos.

Ya que el mapa cumple 2 funciones distintas pero vitales, se explicará por separado como lleva a cabo cada una de ellas.

5.6.3.1. Detección de incidentes

A pesar de que el servicio en segundo plano es el encargado de detectar los cambios en la aceleración y rotación del teléfono móvil, la actividad donde se encuentra el mapa es la encargada de filtrar los datos.

El servicio en segundo plano envía de forma continua los datos recibidos a la actividad del mapa, donde pasan por el filtro especificado por los algoritmos de detección: si los valores sobrepasan el valor límite a partir del cual se considera un accidente de tráfico, se activa el mensaje de alarma siguiente (figura 32) mientras suena un sonido alto:

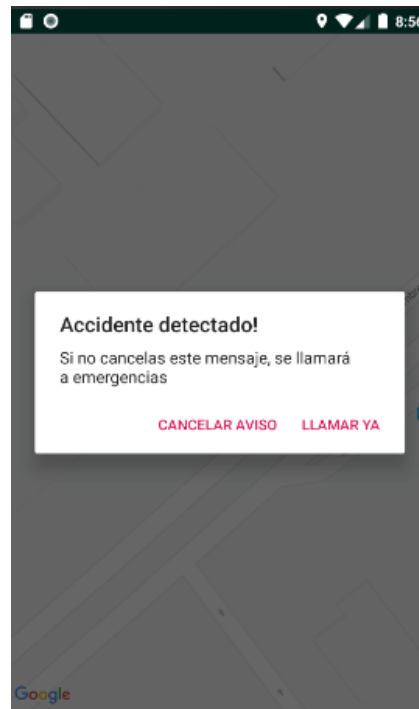


Figura 30. Mapa con aviso de accidente

Este mensaje estará en pantalla durante 30 segundos a menos que se desactive antes. Si se pica al botón *cancelar*, el mensaje desaparecerá. Sin embargo, si se pica a *llamar ya* se llamará automáticamente a emergencias, y los datos relativos al accidente serán mandados al servidor (posición, tiempo, tipo de accidente...). Si no se pica a ningún botón, a los 30 segundos el mensaje desaparece pero también se contacta con emergencias y se envía la información al servidor.

5.6.3.2. Funcionamiento del mapa (señalización de localización del usuario y puntos negros)

El mapa utilizado por la aplicación es una versión especial de Google Maps, que Android Studio permite incluir en la aplicación de forma directa. Cuando el usuario pica al botón para acceder al mapa, la aplicación le pide permiso para tener acceso a su localización. Si el usuario acepta, el mapa con su localización marcada le aparecerá en la pantalla. Esa localización se irá actualizando a medida que se mueva, al igual que la vista del mapa.

En cuanto a los puntos negros, el mapa no carga automáticamente todos los puntos negros recogidos en el servidor, sino que hace un filtrado y selecciona tan sólo los mas cercanos. De esta forma no es necesario que la aplicación cargue tanta información. Esto se consigue marcando una cierta distancia radial alrededor de la localización del usuario, y que al llamar al servidor, tan sólo se cojan los incidentes ocurridos en ese radio.

5.6.3.3. Pestaña de información

Por último, queda la pestaña de información sobre el funcionamiento de la app. Al igual que en la función sobre la información relevante para el cuidado de la bicicleta, es muy sencilla: tan sólo son cuadros de texto. En la figura 33 se puede ver el resultado final:



Figura 31. Pestaña de información sobre el funcionamiento de la app

5.7. Primeros resultados con la app

Una vez la aplicación está hecha y (a primera vista) parece que todo funciona bien, se debe comprobar que funciona bien yendo en bicicleta; principalmente se debe comprobar que la detección de los accidentes de tráfico funcionan como es debido.

Hay muchos aspectos a comprobar en la app para asegurar su correcto funcionamiento, desde comprobar que los botones funcionan como es debido hasta cosas más complejas como pueden ser la correcta detección de los accidentes. A continuación se irán repasando las comprobaciones hechas para asegurar que la aplicación móvil funciona como es debido.

5.7.1. Comprobación de funcionamiento básico

Esta sería la parte más básica de la comprobación del correcto funcionamiento de la app.

Para empezar, se debe comprobar que todos los botones funcionen como es debido: que al picarlos lleven a la sección de la app que toca, el tamaño de letra sea lo suficientemente grande para una lectura correcta, que no haya fallos en el conversor, etc.

5.7.2. Comprobación del correcto funcionamiento del mapa

El mapa es una de las partes más importantes de la app, ya que en él se muestran los puntos negros cercanos al ciclista. En este apartado se debe comprobar una serie de cosas:

- **Aplicación pide permiso para obtener la ubicación del usuario**

Con tal de poder mostrarlos, la app debe conocer la ubicación del usuario para poder mostrar el área que lo rodea. Para poder acceder a la información relativa a la ubicación, la app debe preguntar al usuario si está de acuerdo con hacer accesibles sus datos de ubicación.

- **La ubicación del usuario se muestra correctamente en el mapa**

Al entrar en el mapa, este debe mostrar la ubicación del usuario en ese momento. A medida que este se vaya moviendo, la ubicación debe ir actualizándose acorde a la posición del usuario.

- **Los puntos negros se muestren correctamente**

Los puntos negros detectados se muestren en el lugar correcto.

5.7.3. Detección de accidentes

Esta es la parte más importante de la aplicación, ya que es su función principal y la que más responsabilidad conlleva. Hay muchos aspectos a comprobar en referencia a esta función, los cuales se van a repasar uno a uno a continuación.

5.7.3.1. Correcta detección de los valores de aceleración y giro

Los algoritmos utilizados para la detección de accidentes están basados en los valores obtenidos de aceleración y giro del dispositivo móvil. Si esos valores no se obtienen correctamente (se obtienen valores con una frecuencia demasiado grande o los valores no son correctos) la detección no será posible.

El primer paso para ver si los valores detectados son correctos es crear una pequeña aplicación de prueba donde aparezca en la pantalla los valores de aceleración y giro obtenidos en cada eje. Al mover el teléfono móvil, esos valores irán cambiando de forma acorde al movimiento y se podrá determinar si los valores obtenidos cuadran con la situación y por lo tanto son correctos o no.

Para ver la frecuencia con la que se recogen los datos, se puede hacer una pequeña prueba en la que durante un pequeño periodo de tiempo se recopilan todos los datos en una hoja Excel junto con el momento en el que ocurren. De esta forma se puede observar la frecuencia de obtención de datos. Al intentar detectar accidentes, nos interesa que la frecuencia sea muy alta (múltiples datos por segundo) ya que los cambios en la aceleración son muy bruscos.

Un problema que surge durante la detección de la aceleración y el giro es que la aplicación no proporciona los datos sobre estos dos parámetros en el mismo momento, sino que hay unas décimas de segundo de diferencia entre los resultados. A pesar de que la diferencia de tiempo no supone un problema para la detección del accidente, si que afecta a la forma en la que se le pide a la aplicación que detecte el accidente, ya que no se le puede pedir que ambos valores se hayan obtenido a la vez. Con tal de solucionarlo, también se le pide a la aplicación que proporcione el *timestamp* (o marcaje de tiempo en inglés) para poder comparar el momento exacto (en milisegundos) en el que se producen las lecturas de estos dos parámetros y, al compararlos, se pueda considerar que han ocurrido a la vez.

5.7.3.2. Cálculo correcto del algoritmo de detección

Una vez se ha comprobado que los datos obtenidos de aceleración y giro son correctos, se puede pasar a introducir el algoritmo de detección de accidentes en el código de la aplicación y comprobar que funcione correctamente.

Ya que el algoritmo es sencillo matemáticamente hablando, no es complicado comprobar si la aplicación está haciendo el cálculo correctamente. La complicación en esta parte viene por parte de la diferencia temporal con la que el teléfono móvil detecta la aceleración y el giro, ya que entre ambas lecturas hay un par de décimas de segundo de diferencia.

El algoritmo utilizado se basa en que en el momento del accidente ocurre a la vez un pico en la aceleración y el giro en el eje x. Al no tener lecturas de los datos en el mismo momento exacto, hay que hacer una pequeña comprobación: tal y como se ha comentado en el apartado anterior, se comparará el *timestamp* de los datos obtenidos de aceleración y giro para determinar ssi han ocurrido “a la vez”.

5.7.3.3. Aviso de detección funciona correctamente

Una vez el algoritmo detecta que se ha sobrepasado de los valores límite de aceleración y giro, aparece un aviso en pantalla informando de la detección del accidente. A menos que se desactive antes, el anuncio permanecerá en pantalla durante 30 segundos, y una vez pasados contactará automáticamente con emergencias.

Para comprobar que el aviso salta correctamente, se modifica el límite de valores para los cuales se considera que ha ocurrido un accidente. De esta forma, al lanzar el teléfono móvil se alcanza ese nuevo límite impuesto y la aplicación detecta un accidente.

El primer problema que nos encontramos con la aparición del aviso es el siguiente: en el momento del accidente, se produce un pico de aceleración y giro en un tiempo muy corto. Sin embargo, ya que la frecuencia de lectura de datos se hace cada pocas décimas de segundo, se obtienen múltiples lecturas durante ese periodo de pico. Al sobrepasar todas el límite establecido del algoritmo, la app consideraba que cada una de esas lecturas era un accidente individual y hacía saltar el aviso. Así pues, en pantalla aparecían múltiples avisos superpuestos, y la app colapsaba.

Con tal de poder solucionarlo, se hace una pequeña comprobación previa que detecte si hay un aviso en pantalla. En caso de haberlo, a pesar de que el algoritmo siga detectando nuevos valores que se puedan calificar como accidente no hace saltar un nuevo aviso, ya que el accidente ya ha sido detectado. Esto también evita que se manden más avisos de los necesarios al servidor.

Finalmente, también hay que comprobar que el aviso se desactive sólo tras 30 segundos, y que sus botones funcionen perfectamente.

5.7.3.5. Correcta detección de accidentes

Ya que no se dispone de un laboratorio donde hacer pruebas con muñecos para ver si al tener un accidente la app lo detecta, nos limitaremos a comprobar que el aviso salta correctamente. Esto se comprueba tal y como se ha explicado en el apartado 5.7.3.3.: se hace una pequeña prueba bajando el valor límite en los algoritmos de detección de accidentes y tirando el teléfono móvil contra una superficie blanda.

De esta forma, al haber bajado el valor límite para detectar un accidente, el aviso debería saltar con más facilidad. Tras haber hecho unas cuantas pruebas y comprobar que el aviso salta correctamente y otros aspectos relacionados con su correcto funcionamiento (que está activo durante 30 segundos, la aplicación no colapse, etc.) se considera que funciona como debería.

Sin embargo, esto no implica que en caso de que se produzca un accidente la aplicación lo detecte correctamente. A pesar de que los algoritmos utilizados en el diseño de esta aplicación móvil están basados en pruebas controladas hechas en laboratorio, el funcionamiento del sistema de detección de accidentes en la app no se puede garantizar al 100%. Esto es debido a 2 razones:

- **Falta de pruebas con la app**

A pesar de que los algoritmos utilizados han sido comprobados en laboratorio y detectan correctamente cuando se ha producido un accidente, la implementación de dichos algoritmos en la app diseñada para este trabajo puede tener algún tipo de fallo.

Aunque se ha comprobado que el sistema de detección de la aceleración y giro funciona correctamente y el aviso de accidente también funciona como es debido, no se puede asegurar con total certeza que la aplicación detectará el accidente en caso de que se produzca, ya que no se han podido hacer pruebas para comprobarlo.

- **Los algoritmos están basados en estudios hechos en laboratorio**

Tal y como se ha comentado anteriormente, los algoritmos utilizados para la detección de accidentes están basados en unos estudios hechos en laboratorio. A pesar de que se intentó reproducir de la forma más realista posible un choque entre un ciclista y un vehículo motorizado, sigue sin ser un accidente real y por lo tanto los datos recopilados pueden no ser representativos.

Así pues, la situación ideal sería poder comprobar si la app detecta un accidente producido en la vida real. Como es de esperar, este tipo de comprobaciones no se pueden hacer de forma provocada, ya que se pone en peligro la vida del ciclista involucrado. La siguiente opción es esperar a que la gente utilice la aplicación en sus trayectos en bicicleta, y cuando se produzcan accidentes se estudie de forma detenida los valores obtenidos durante el incidente. A medida que pase el tiempo, se iría formando una base de datos sobre accidentes en ciclistas, y a partir de ahí se podría comprobar si los algoritmos utilizados hasta el momento funcionan correctamente para la detección de accidentes.

Sin embargo, como en la actualidad no existe una recopilación pública de los valores de aceleración y giro en la situación de un accidente entre un ciclista y vehículo motorizado, así que los datos recopilados en laboratorio son lo más cercano a la realidad que podemos utilizar actualmente.

Avisos falsos

A pesar de que no se puede asegurar con total certeza que la app detecte de forma correcta los accidentes entre un vehículo motorizado y un ciclista, se puede comprobar que al circular de forma normal y sin incidencias con la bicicleta, la aplicación detecta de forma incorrecta que se ha producido un accidente.

Para comprobarlo, se circula con la bicicleta por distintos tipos de terrenos y con la aplicación funcionando para que vaya detectando la aceleración y el giro en todo momento. Durante estas pruebas, el móvil está colocado en el manillar tal y como se ha especificado en la figura 20 del apartado 5.3.2.

Tras hacer más de 3h de recorrido poniendo a prueba el funcionamiento de la aplicación móvil diseñada, no se obtienen falsas alarmas sobre la detección de accidentes. Así pues, se puede confirmar que durante trayectos sin incidencias relevantes la aplicación funciona como es debido. En el anejo 1 se pueden observar los datos obtenidos durante algunos de los trayectos hechos, especificando el tipo de terreno en el que se han hecho las pruebas y si había algún tipo de peculiaridad en el circuito recorrido.

La recopilación de datos se ha decidido hacer mediante el uso de la aplicación Android gratuita *Sensorstream IMU+GPS* [47], una app que recoge los datos de los sensores del teléfono móvil y los introduce en una hoja Excel. De esta forma, se dispone de los datos de forma ordenada, y después es más fácil poder hacer gráficos y tratar con ellos.

Cabe destacar que a pesar de que las pruebas hechas han demostrado que la aplicación no detecta accidentes falsos (al menos con una frecuencia elevada), se decidió poner un temporizador de 30 segundos una vez aparece el aviso de accidente con tal de que, en caso de que el accidente no haya ocurrido realmente, el usuario sea capaz de cancelar el aviso y así evitar llamar a emergencias.

5.7.3.6. Enviar y recibir información al servidor

Para ver si la información referente al accidente detectado se envía de forma correcta al servidor, tan sólo hay que mirar si éste ha recibido información. De la misma forma, es fácil comprobar si la app es capaz de recibir información del servidor.

Tras hacer todas estas comprobaciones, se puede asegurar que la aplicación funciona correctamente y cumple con los objetivos marcados al inicio.

6. Vías abiertas y el futuro de la app

La aplicación de móvil diseñada en este trabajo es un primer paso hasta llegar a una solución definitiva; a pesar de que ya tiene implementadas varias funciones que ayudan a reducir la accidentabilidad de los ciclistas, se pueden introducir otro tipo de cosas con tal de mejorar la app.

A continuación se explicará cuales son esas mejoras a introducir, al igual que nuevas funciones que podrían complementar las ya existentes. Por último, se hablará de otros posibles usos que se le puede dar a la aplicación y a los datos recopilados con ella.

6.1. Mejoras de la app

En este apartado se hablarán de las mejoras que se pueden aplicar a la aplicación, ya bien sea intentando mejorar algunas de las funciones ya incluidas en la aplicación o añadiendo nuevas funciones.

6.1.1. Mejoras de las funciones actuales

Tal y como se ha comentado anteriormente, los algoritmos de detección de accidentes utilizados en la aplicación están basados en las conclusiones obtenidas por una serie de estudios en laboratorio sobre la detección de accidentes de ciclistas mediante el teléfono móvil.

Así pues, a pesar de que los algoritmos han sido comprobados y dan buenos resultados en laboratorio, esto no garantiza su perfecto funcionamiento en la detección de accidentes reales. Lo ideal sería que, a medida que los usuarios fuesen utilizando la aplicación, se fuesen recopilando los datos de los accidentes que han ocurrido mientras estaba la aplicación funcionando. De esta forma, al cabo de un tiempo se tendrían datos reales sobre choques entre ciclistas y vehículos motorizados, y el algoritmo utilizado se podría revisar para comprobar que realmente funciona bien.

6.1.2. Introducción de nuevas funciones

Durante la primera parte de este trabajo se ha hablado de la importancia de la prevención, insistiendo en que simplemente actuar cuando ya se ha producido un accidente no ayuda a reducir la siniestralidad entre los ciclistas. De la misma forma que ocurre con los accidentes de tráfico con vehículos motorizados, por cada accidente que se produce otros muchos usuarios han estado a punto de tener uno. Es lo que coloquialmente conocemos como “sustos”: nos vemos en una situación peligrosa, pero ya bien sea por suerte o por reaccionar a tiempo, el accidente no ocurre y se queda todo en una mera anécdota.

A pesar de que estos datos no son recogidos y utilizados para la detección de puntos conflictivos, mediante esta aplicación es posible hacerlo para el caso de los ciclistas. De la misma forma que la app es capaz de detectar los accidentes graves, también se pueden incluir algoritmos de detección de otras incidencias más simples, como podría ser la detección de frenadas bruscas,

resbalones, caídas a baja velocidad, baches... La recopilación de esta clase de datos podría ser de utilidad no sólo para la detección de puntos peligrosos: por ejemplo, con la detección de baches también se puede detectar que puntos del carril bici necesitan mantenimiento.

Finalmente, a pesar de que suelen ser los que conllevan las consecuencias más graves, los accidentes producidos por el choque con un vehículo motorizado tan sólo suponen un 30% del número de accidentes totales. Tal y como hemos visto anteriormente, la gran mayoría de accidentes de bicicleta donde el usuario ha necesitado atención hospitalaria ha sido por alguno de estos motivos:

- Resbalarse a causa de gravilla, arena, agua... sobre la superficie del carril
- Colisión con algún objeto del carril (bolardos)
- Frenada brusca y posterior caída
- Pérdida de control a causa de un bache en el carril
- Fallo en los frenos: mal mantenimiento
- Rueda patina al girar a causa de estar muy deshinchada
- Cadena se sale del sitio

Así pues, a pesar de que la aplicación es capaz de detectar accidentes graves (producidos por colisiones con vehículos motorizados), de momento no es capaz de detectar estos otros tipos de incidencias. Lo ideal sería que fuese capaz de detectar también resbalones, colisiones a baja velocidad, frenadas bruscas y baches, y así cubrir los principales motivos por los que los ciclistas sufren accidentes.

Sin embargo, con tal de que la detección sea certera, se deben obtener muchos datos con los que poder trabajar después: lo conveniente es tener a múltiples personas paseando con bicicleta por distintos terrenos (ciudad y montaña) y que, llevando la aplicación abierta, se vayan recogiendo datos sobre la salida. Es importante que los datos obtenidos provengan de distintas personas, ya que cada persona tiene una forma característica de ir en bicicleta (cambios en velocidad, brusquedad al girar y frenar, manejo del vehículo en general, etc) y por lo tanto hay que recoger datos en los que se vean reflejadas estas diferencias entre usuarios.

Otro detalle que hay que tener en cuenta es el tipo de bicicleta con el que se obtendrán los datos. Por ejemplo, una bicicleta con suspensiones en las ruedas no notará los baches de la misma forma que una bicicleta antigua que no tenga un buen sistema de amortiguación.

Sumados, todos estos detalles implican una gran cantidad de horas, de personal y una flota de bicicletas con características distintas. Ya que este trabajo es una tesina de final de máster, y teniendo en cuenta el impacto que ha tenido el COVID-19 en cuanto a salir con la bicicleta a hacer pruebas, no se ha llevado a cabo un estudio sobre la detección de este tipo de incidencias; a pesar de esto, no implica que no sea importante y que no se deba estudiar en un futuro.

Poniendo como ejemplo uno de los motivos nombrados en la lista de la página anterior (frenadas bruscas), se puede ver fácilmente la importancia de su detección y los beneficios que podría traer:

- **Es un buen indicativo de un posible accidente grave**

Cuando una persona frena de forma brusca yendo en bicicleta no suele ser a causa de una conducción temeraria, sino que viene dado por una reacción rápida con tal de evitar un accidente. Puede darse cuando un peatón cruza de forma repentina y se evita atropellarlo, para evitar un choque con otra bicicleta, coche, etc.

En estos casos, de no frenar, se habría producido un accidente (con mayores o menores consecuencias según las circunstancias dadas). Así pues, se podría considerar que, en los puntos donde hay muchas frenadas repentinas, son puntos con alta probabilidad de que ocurran accidentes.

- **Es una de las principales causas de accidentabilidad**

En la lista disponible en la página anterior, en tercera posición está descrita *frenada brusca y posterior caída* como causa de hospitalización en ciclistas en el caso de accidentes sin implicación de terceros. Así pues, mediante la detección de las frenadas bruscas, también estaríamos detectando de forma indirecta este tipo de incidencias.

Finalmente, la segunda causa de la lista es *colisión con algún objeto del carril (bolardos)*. De nuevo, tal y como se ha explicado en el anterior punto, mediante la detección de frenadas se pueden detectar todos esos casos en los que se ha estado a punto de chocar con un objeto del carril pero que no ha llegado a ocurrir.

Mediante la detección de frenadas bruscas, no se busca tan sólo detectar los casos en los que se ha producido un accidente, sino que el objetivo principal es detectar los casos en los que se ha estado a punto de producirse uno. Una vez la aplicación esté disponible para el público y se empiecen a recopilar datos, si en un tramo de carril se detectan múltiples frenadas implica que ahí hay algún elemento problemático: puede ser que sea común que haya peatones cruzando, que haya baja visibilidad en una curva, que haya un bolardo en medio del carril molestando...

De la misma forma que la detección de frenadas podría darnos mucha información sobre el carril bici y su entorno, la detección de otro tipo de incidencias tales como los baches en el carril y la detección de resbalones también serían de gran utilidad.

Para acabar de completarlo, se puede dar una breve descripción de la razón por la que se ha marcado esa zona como punto negro: por atropellos de coches, atropellos a peatones, suelo cubierto con material resbaladizo... Mediante la información recaudada por los sensores del teléfono móvil, se puede obtener información básica sobre los accidentes ocurridos y así después incluirla en el mapa. De esta forma, cuando el ciclista se acerque a un punto negro, podrá ver que es una zona peligrosa con suficiente antelación y así evitar un posible accidente.

Tal y como se ha comentado en el apartado 3.4.3.1., con tal de poder enseñar en el mapa la posición de los puntos conflictivos se debe tener una gran cantidad de datos y así poder identificar cuáles son dichos puntos. Esto es un problema durante la primera fase de la aplicación, ya que no ha dado tiempo a tener un gran conjunto de datos sobre los que poder trabajar.

Durante esta primera etapa donde no se ha recopilado un número suficiente de incidencias, la recopilación de datos como las frenadas bruscas podría ser de gran utilidad para definir los puntos conflictivos: al ser indicativo de posible accidente y ocurrir de forma más común que un accidente, se podría utilizar la información recopilada por las frenadas bruscas y juntarla con la de los accidentes ocurridos con tal de marcar cuales pueden ser los puntos negros.

A pesar de que las conclusiones obtenidas no serían fiables al 100%, es una buena primera aproximación hasta que se obtengan datos suficientes con los que poder trabajar y determinar la posición de los puntos negros.

Además de incluir la detección de otro tipo de incidencias en la app, también se podrían añadir una serie de datos útiles relevantes con el uso de la bicicleta. Por ejemplo, se podría añadir más información importante en el mapa, como por ejemplo:

- **Localización de servicios como el *Bicing*, *Bicibox*, etc.**

De esta forma, los usuarios pueden tener controlado si hay alguna estación de alquiler o guardado de bicicletas a su alrededor. Con tal de ir un paso más allá, se podría incluso informar sobre si queda alguna bicicleta o espacio disponible.

- **Lugar donde hinchar las ruedas**

En la mayoría de las gasolineras hay una pequeña estación de aire a presión, donde se pueden hinchar las ruedas de la bicicleta; estos lugares podrían quedar incluidos en el mapa.

Claro está, para poder llevar a cabo todo esto se requiere una colaboración por parte de múltiples servicios: por ejemplo, con tal de poder mostrar cuantas bicicletas libres quedan en cada estación de *Bicibox*, la aplicación debería tener acceso a los datos de cada una de las estaciones, lo cual no sería posible sin la colaboración de los responsables de *Bicibox*.

6.2. La prevención de accidentes a partir de los datos de la app

A pesar de que el objetivo inicial de la aplicación móvil era prevenir la accidentabilidad entre ciclistas en el momento que están circulando, se puede utilizar la información recopilada con otros fines.

Con la ayuda de la información recopilada por la app, se pueden llegar a conocer que partes de un carril bici tiene baches, bolardos colocados en un sitio problemático, mala visibilidad... todos estos problemas tienen fácil solución: tapar un bache, mover el bolardo o colocar un espejo para mejorar la visibilidad en un giro. Dando acceso a los datos recopilados los ayuntamientos y demás instituciones, estos podrían poner remedio de forma más efectiva a los puntos más problemáticos de los carriles bici.

Yendo un paso más allá, se puede hacer un estudio de cuáles son los carriles bici más problemáticos, la razón tras ello y sobre todo si se podría haber solucionado con otro diseño y localización. Volviendo al ejemplo mencionado en el apartado 3.2.2.3. (carril bici que pasa por la puerta de un parque infantil), es un claro ejemplo de que una mejor planificación de la localización del carril bici hubiese significado un descenso en los accidentes.

Sin embargo, no todos los ejemplos son tan obvios como lo puede ser este, pero con la ayuda de la información recopilada se puede hacer una observación sobre que carriles traen más problemas y las razones tras ello. Un claro ejemplo sería los carriles colocados justo al lado de una zona de aparcamiento: los usuarios de los coches normalmente abren las puertas de sus vehículos sin ser conscientes de que puede estar viniendo un ciclista, y esto puede conllevar un pequeño accidente. En la figura 34 se puede ver cómo han necesitado incluir un espacio extra entre la zona de aparcamiento y el carril bici para solucionar este problema:



Figura 32. Carril bici junto a una zona de aparcamiento en la calle [48]

Este tipo de estudios se ha hecho de forma continua a lo largo de los años con el diseño de carreteras: el uso de clotoides para los giros sería un claro ejemplo, ya que se utiliza un tipo de curva muy concreta con tal de asegurar la mejor experiencia de conducción para el usuario. Así pues, ya que el objetivo es introducir de forma progresiva un uso más extenso de la bicicleta en nuestra sociedad, lo ideal sería empezar a estudiar lo antes posible cómo hacer unos carriles bici que se ajusten a las necesidades de los usuarios lo máximo posible. A medida que se obtengan datos, se podrá ver cuáles son los carriles con menor o mayor incidencia de accidentabilidad y se podrá estudiar la razón tras ello. Finalmente, a base de prueba y error, se llegará a la solución óptima de la localización de los carriles bici para todas las partes implicadas.

7. Conclusiones

7.1. Resultados

Tras estudiar la situación actual referente al uso de la bicicleta en España, se observa que a pesar de que su uso va en aumento, el porcentaje de población que se decanta por utilizar este medio de transporte de forma regular es bajo comparado con su uso en otros países europeos. Al analizar más profundamente las causas tras esta disparidad en los datos, se observa que el principal motivo por el cual la sociedad española decide no utilizar la bicicleta es el temor a sufrir algún tipo de accidente.

Al estudiar si este miedo es infundado o no, nos damos cuenta de que a pesar de que el porcentaje de muertes se reduce con los años, el porcentaje de gente accidentada no. De hecho, el 16,2% de los usuarios de bicicleta entrevistado en el *Barómetro de la Bicicleta* de 2019 afirman haber tenido al menos un accidente de tráfico en los últimos 5 años.

Una vez conocido el motivo principal tras el bajo uso de la bicicleta, se ha pasado a estudiar cuales eran las causas tras la accidentabilidad en los ciclistas. A pesar de que el mayor temor de la población es tener un accidente que involucre a un tercero, la mayor causa de accidentabilidad en ciclistas son los errores propios. Sin embargo, como cabe de esperar, los accidentes que involucren a terceros son de mayor gravedad.

Tras tener una idea más general de la situación actual del uso de las bicicletas en España y con tal de potenciar su uso, se optó por **diseñar una aplicación para móviles Android la cual se aprovecha de los datos recopilados por el teléfono de la aceleración y giro que este experimenta, y los utiliza para detectar cuando se ha producido un accidente**. Cuando el teléfono móvil detecta que se ha producido uno, éste envía la información sobre el accidente a emergencias con tal de poder socorrer al ciclista.

Además de esta función de socorro, la aplicación también incluye una función de aviso preventivo para los usuarios: cada vez que la aplicación detecte un accidente, la información también será enviada a un servidor. Mediante la recopilación de datos de los accidentes producidos, se detecta cuáles son los puntos de los carriles bici donde se producen más accidentes, y estos lugares quedan marcados en un mapa para que los usuarios de la aplicación sean más prudentes por esas zonas.

Finalmente, a pesar de que el objetivo principal del trabajo se ha cumplido, se hace un pequeño análisis sobre posibles mejoras para la aplicación móvil y las ventajas que comportaría utilizar los datos de accidentabilidad recopilados para arreglar desperfectos actuales y, por último, mejorar el diseño de futuros carriles bici.

7.2. Líneas para el futuro

Para empezar, al buscar datos sobre la accidentabilidad en ciclistas en España hubo una serie de problemas, ya que los datos disponibles son pocos y no se concretan las razones tras los accidentes ocurridos. Al no conocer las razones tras los accidentes, es difícil poder ponerles remedio. Por suerte, se han hecho estudios más exhaustivos en otras partes del mundo, y los datos obtenidos en estos estudios se han aplicado a la situación en España.

Además de afectar a la búsqueda de soluciones para reducir la accidentabilidad de forma preventiva, también ha pasado factura a la hora de crear el mapa de puntos negros. Al no haber un registro oficial sobre los accidentes de ciclistas con su localización exacta y motivo del accidente, no se puede trabajar en crear un mapa con puntos negros. Así pues, esta parte queda pospuesta hasta poder tener una base de datos lo suficientemente amplia.

Teniendo en cuenta la importancia de aportar modos de transporte alternativos a los vehículos privados, sería lógico que se hiciese una recogida de datos más extensa sobre los accidentes ocurridos en ciclistas, y de esta forma tener datos con los que poder trabajar y llegar a mejores conclusiones para mejorar la situación actual referente al uso de las bicicletas.

Por otro lado, la idea de trabajar en una aplicación móvil en este estudio nace a partir de la idea del coche conectado: actualmente ya es una realidad, y está dando buenos resultados.

De la misma forma que el coche conectado recibe información de su alrededor (como por ejemplo si hay calles cortadas por obras o accidentes de tráfico, información sobre otros vehículos, etc.) también se podría trabajar en implementar este tipo de conectividad en las bicicletas. Para acabar de rematarlo, se puede introducir una interconectividad entre ambos vehículos, con tal de que los coches sean capaces de recibir un aviso cuando se acerquen a un punto negro de bicicletas y reduzcan su velocidad en ese tramo.

Finalmente, tal y como se ha comentado en el apartado 6.2, de la misma forma que se ha estudiado de forma exhaustiva a lo largo de la historia como diseñar de forma óptima los carriles de carretera y su disposición, también se podría hacer el mismo tipo de estudio para los carriles bici. A partir de la información ya disponible (y a medida que se vaya recopilando más datos a partir de la app o por parte del estado) se podría hacer un estudio sobre la localización óptima de los carriles bici respecto a la carretera, acera, zona de aparcamiento... con tal de reducir la siniestralidad en ciclistas y también evitar posibles accidentes entre peatones y ciclistas.

Bibliografía

- [1] Grupo de investigación en Neumología del hospital Vall d'Hebron, «Vall d'Hebron,» 25 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://www.vallhebron.com/es/noticias/pueden-las-particulas-diesel-causar-asma-en-personas-sanas>. [Último acceso: 28 Mayo 2020].
- [2] ABC, «ABC,» 3 Agosto 2017. [En línea]. Available: https://www.abc.es/espana/catalunya/abci-contaminacion-vehiculos-diesel-potencia-alergias-201708031238_noticia.html. [Último acceso: 28 Mayo 2020].
- [3] C. Europea, «European Comission,» 23 Febrero 2020. [En línea]. Available: https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/urban_mobility_en. [Último acceso: 24 Febrero 2020].
- [4] A. A. Europea, «European Environment Agency,» 24 Abril 2017. [En línea]. Available: <https://www.eea.europa.eu/highlights/road-traffic-remains-biggest-source>. [Último acceso: 24 Febrero 2020].
- [5] E. P. H. A. (. CE Delft, «Health impacts and costs of diesel emissions in the EU,» Delft, 2018.
- [6] Comisión Europea, «Special Eurobarometer 422a "Quality of Transport",» 2014.
- [7] GESOP, «Barómetro de la bicicleta en España,» Barcelona, 2019.
- [8] Parlamento Europeo, «Directive 2010/40/EU of the European Parliament and of the council»
7 Julio 2010. [En línea]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0040&from=EN>. [Último acceso: 27 Noviembre 2019].
- [9] Instituto Nacional de Estadística, «Instituto Nacional de Estadística,» 1 Enero 2020. [En línea].
Available: <https://www.ine.es/dynt3/inebase/index.htm?padre=525>. [Último acceso: 26 Febrero 2020].
- [10] Noticias El Tiempo, «Noticias El Tiempo,» 19 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://noticias.eltiempo.es/ciudades-mas-carril-bici-espana/>. [Último acceso: 26 Febrero 2020].
- [11] Gobierno de España, «Dirección General de Tráfico,» [En línea]. Available: <http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/accidentes-30dias/tablas-estadisticas/>. [Último

acceso: 22 Noviembre 2019].

- [12] P. Schepers y K. K. Wolt, «Single-bicycle crash types and characteristics,» *Cycling Research International*, vol. 2, pp. 119-135, 2012.
- [13] El País, «El País,» 27 Agosto 2013. [En línea]. Available: https://elpais.com/ccaa/2013/08/27/valencia/1377599203_565469.html. [Último acceso: 14 Mayo 2020].
- [14] S. Useche, L. Montoro, F. Alonso y O. Oviedo-Trespalcios, «Infrastructural and Human Factors affecting Safety Outcomes of Cyclists,» 2018.
- [15] E. E. C. Federation, «ECF European Cyclists' Federation,» [En línea]. Available: https://web.archive.org/web/20050305185541fw_/http://www.ecf.com/index.htm. [Último acceso: 25 Febrero 2020].
- [16] E. E. C. Federation, «EuroVelo,» [En línea]. Available: <https://en.eurovelo.com/>. [Último acceso: 25 Febrero 2020].
- [17] Red de Ciudades por la Bicicleta, «Red de Ciudades por la Bicicleta,» [En línea]. Available: <https://www.ciudadesporlabicicleta.org/>. [Último acceso: 25 Febrero 2020].
- [18] Red de Ciudades por la Bicicleta, «BiciRegistro,» [En línea]. Available: <https://www.biciregistro.es/>. [Último acceso: 25 Febrero 2020].
- [19] Bicicleta Club de Catalunya, «BACC Bicicleta Club de Catalunya,» [En línea]. Available: <http://bacc.cat/>. [Último acceso: 25 Febrero 2020].
- [20] Ajuntament de Barcelona, «Bicing,» [En línea]. Available: <https://www.bicing.barcelona/es>. [Último acceso: 16 Marzo 2020].
- [21] AMB , «Bicibox,» [En línea]. Available: <https://www.bicibox.cat/ca-es/Bicibox>. [Último acceso: 16 Marzo 2020].
- [22] AMB, «AMB,» 18 Abril 2020. [En línea]. Available: <http://www.amb.cat/ca/web/mobilitat/actualitat/noticies/detall/-/noticia/reobertura-de-l-e-bicibox/9088271/11704>. [Último acceso: 10 Junio 2020].
- [23] A. C. C. News, «Auto Connected Car News,» 5 Noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.autoconnectedcar.com/definition-of-connected-car-what-is-the-connected-car-defined/>.
- [24] RACE, 25 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.race.es/v2i-coche-conectado-con-la-infraestructura>.

- [25] U. D. o. Transportation, «Vehicle-to-vehicle communications: Readiness of V2V technology for application».
- [26] U. D. o. Transportation, «Connected vehicles: Vehicle-to-pedestrian communications».
- [27] AG, Siemens, «Siemens Mobility,» 25 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/public.1499954507.9c7f02efa4cd2e1b0f6ea0eadeb5db658837d86e.siemens-vehicle-to-x-communication-technology-infographic.pdf>.
- [28] National Highway Traffic Safety Administration, «Vehicle-to-vehicle communications: readiness of V2V technology for application,» Washington, DC, 2014.
- [29] 5GAA - 5G Automotive Association e.V., «PR Newswire,» 24 Mayo 2019. [En línea]. Available: <https://www.prnewswire.com/news-releases/la-tecnologia-c-v2x-contribuye-a-mejorar-la-seguridad-vial-para-todos-847692216.html>. [Último acceso: 28 Noviembre 2019].
- [30] C-Roads Germany, «C-Roads Germany,» [En línea]. Available: <https://www.c-roads-germany.de/english/c-its-services/rww/>. [Último acceso: 28 Noviembre 2019].
- [31] D. E. Wesson, D. Stephens, K. Lam, D. Parsons, L. Spence y P. C. Parkin, «Trends in Pediatric and Adult Bicycling Deaths Before and After Passage of a Bicycle Helmet Law,» *Pediatrics*, nº 122, pp. 605-610, 2008.
- [32] European Cyclist Federation, «ECF HELMET FACTSHEET,» 2014.
- [33] Norauto, «Tu Taller Norauto,» 4 Julio 2018. [En línea]. Available: <https://www.tutaller.norauto.es/casco-inteligente-livall/>. [Último acceso: 6 Noviembre 2019].
- [34] «Hödving,» [En línea]. Available: hovding.com. [Último acceso: 15 Noviembre 2019].
- [35] TNO, «TNO,» 17 Noviembre 2017. [En línea]. Available: tno.nl/nl/tno-insights/artikelen/25-jaar-onderzoek-om-kwetsbare-verkeersdeelnemers-te-beschermen/. [Último acceso: 14 Noviembre 2019].
- [36] K. Broer, «Ouderen stappen anders op,» *FietsVerkeer*, vol. Otoño 2015, nº 37, pp. 32-35, 2015.
- [37] e-tecnia soluciones, «BikeNearU,» [En línea]. Available: <https://bikenearu.com/>. [Último acceso: 26 Febrero 2020].
- [38] Mutua Madrileña, «Mutua Madrileña,» [En línea]. Available: https://www.mutua.es/blog/seguridad-vial/bicicrash-app-salva-vidas-ciclistas_post/. [Último acceso: 26 Febrero 2020].

- [39] Mathworks, «Mathworks,» [En línea]. Available: <https://www.mathworks.com/help/supportpkg/android/ref/accelerometer.html>. [Último acceso: 2 Junio 2020].
- [40] «El blog de cubiertas,» 4 Diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.cubiertasmtb.com/blog/como-inflar-correctamente-las-cubiertas-de-bici/>. [Último acceso: 10 Abril 2020].
- [41] A. Marsal, «We love cycling,» 23 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://www.welovecycling.com/es/2018/03/23/como-engrasar-la-cadena-de-tu-bici/>. [Último acceso: 10 Abril 2020].
- [42] M, «Bicilink,» 30 Diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://bicilink.com/blog-ciclismo/como-y-cuando-cambiar-las-cubiertas-de-mi-bici/>. [Último acceso: 10 Abril 2020].
- [43] S. Candefjord, L. Sandsjö, R. Andersson, N. Carlborg, A. Szakal, J. Westlund y B. Sjöqvist, «Using Smartphones to Monitor Cycling and Automatically Detect Accidents - Towards eCall Functionality for Cyclists,» de *Proceedings, International Cycling Safety Conference*, Göteborg, 2014.
- [44] B. Williams, «Bicycle crash detection: using a voice-assistant for more accurate reporting,» Oregon, USA, 2018.
- [45] J. I. Rodríguez, «Puntos negros,» DGT, 1998.
- [46] La Nueva España, «La Nueva España,» 11 Febrero 2014. [En línea]. Available: <https://www.lne.es/asturias/2014/02/11/punto-negro-tramo-concentracion-accidentes/1541546.html>. [Último acceso: 29 Abril 2020].
- [47] A. Lorenz, 8 Febrero 2013. [En línea]. Available: https://play.google.com/store/apps/details?id=de.lorenz_fenster.sensorstreamgps&hl=es. [Último acceso: 2 Junio 2020].
- [48] Uno, «Uno y los demás,» 4 Agosto 2017. [En línea]. Available: <http://unoylosdemas.blogspot.com/2017/08/el-gran-carril-bici-de-santa-engracia.html>. [Último acceso: 24 Junio 2020].
- [49] O. f. E. C.-o. a. D. (OECD), «Background report and survey of OECD, IEA and ECMT work,» París.
- [50] La bicicleta, «La bicicleta,» [En línea]. Available: <https://labicikleta.com/las-mejores-apps-ciclistas/>. [Último acceso: 26 Febrero 2020].

Anejo 1

Datos sobre la aceleración y giro obtenidos durante la circulación en bicicleta en distintos tipos de caminos

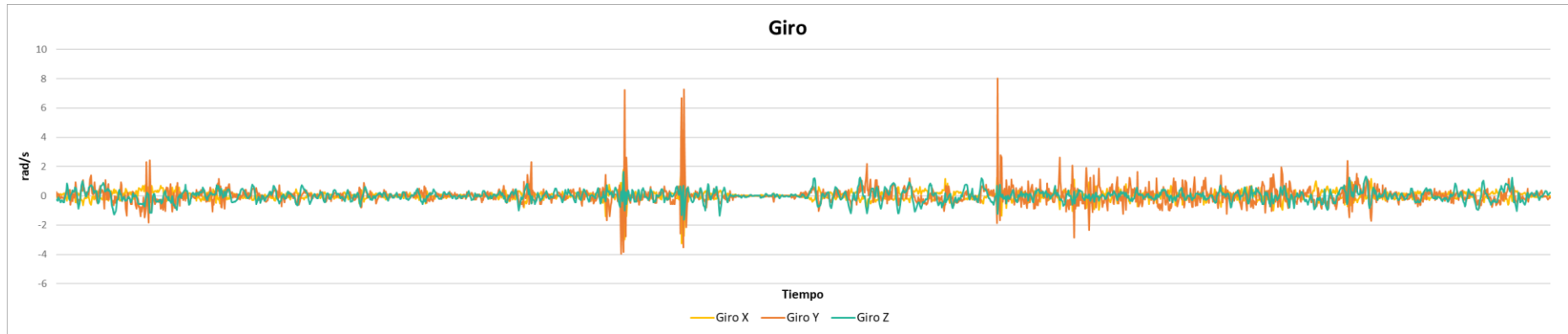


Gráfico 16. Datos sobre el giro (en cada eje) durante un paseo por la ciudad

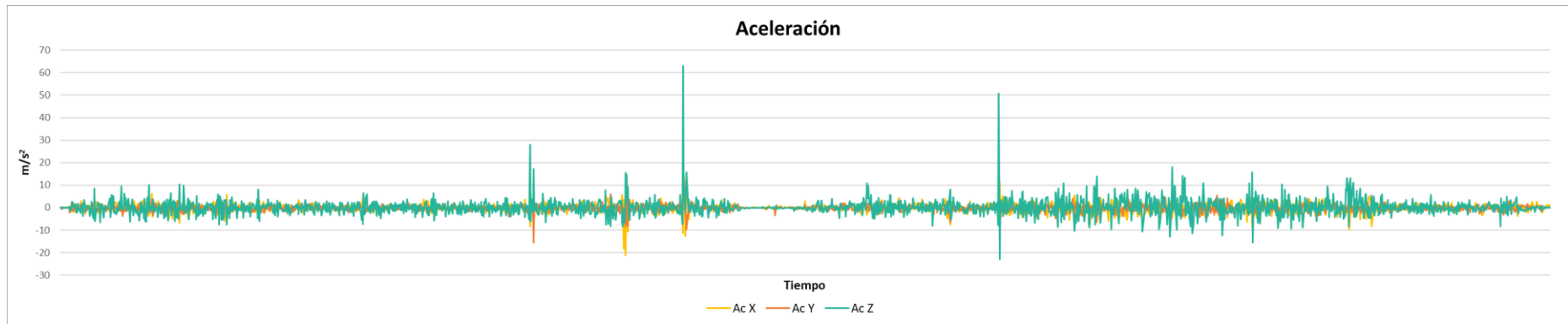


Gráfico 17. Datos sobre la aceleración (en cada eje) durante un paseo por la ciudad

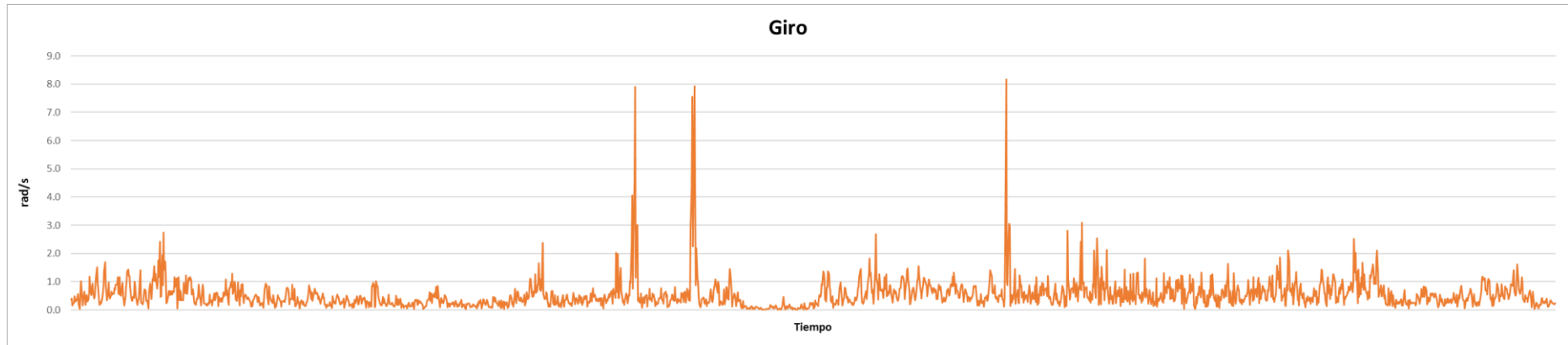


Gráfico 18. Datos sobre el giro (módulo) durante un paseo por la ciudad

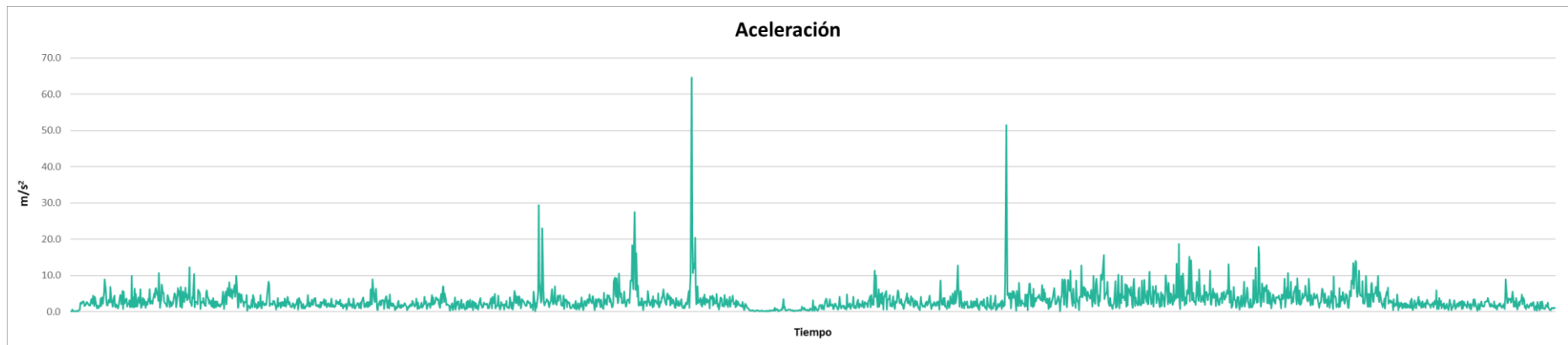


Gráfico 19. Datos sobre la aceleración (módulo) durante un paseo por la ciudad

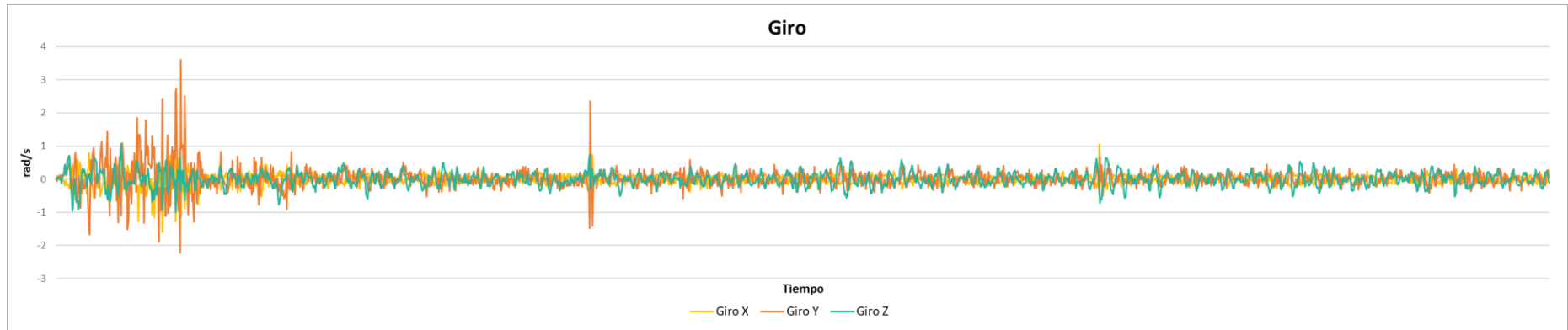


Gráfico 20. Datos sobre el giro (en cada eje) durante un paseo por una zona de tierra

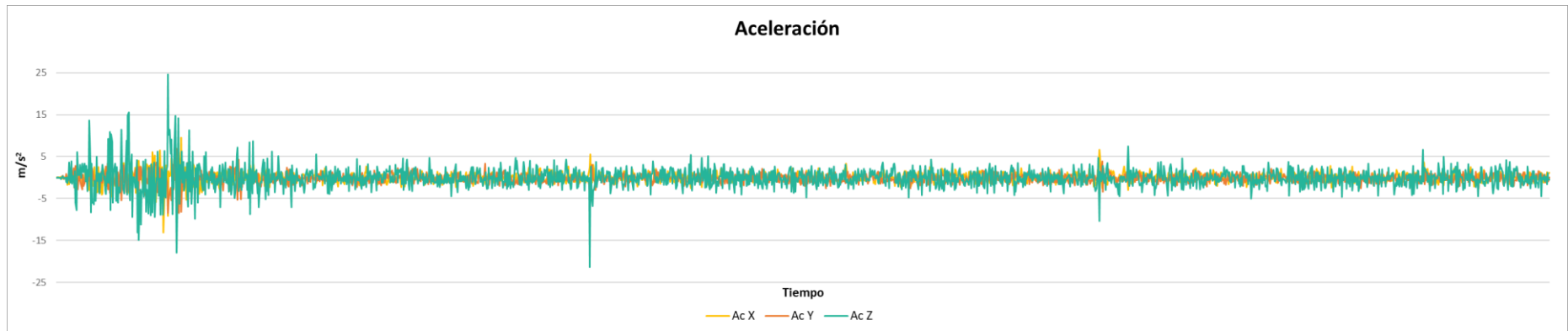


Gráfico 21. Datos sobre la aceleración (en cada eje) durante un paseo por una zona de tierra

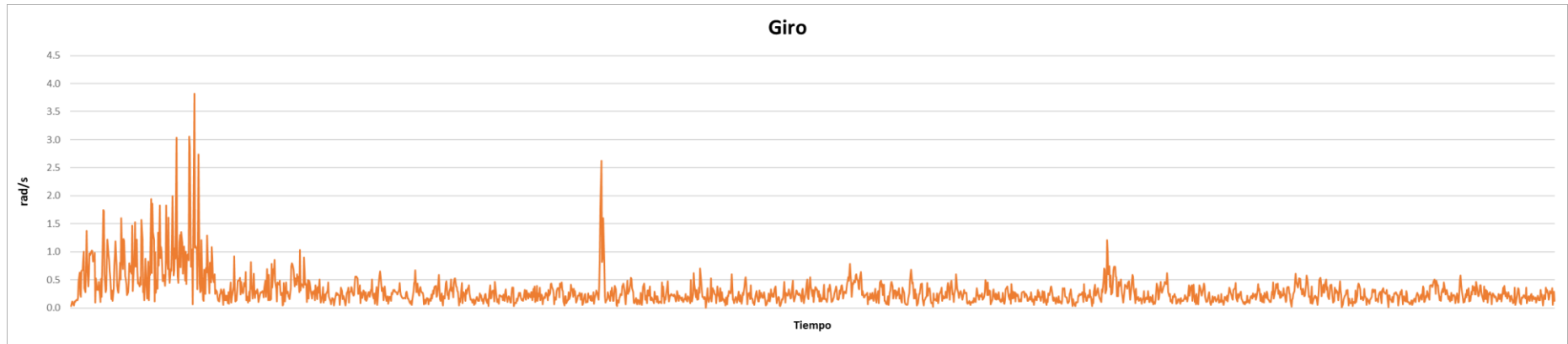


Gráfico 22. Datos sobre el giro (módulo) durante un paseo por una zona de tierra

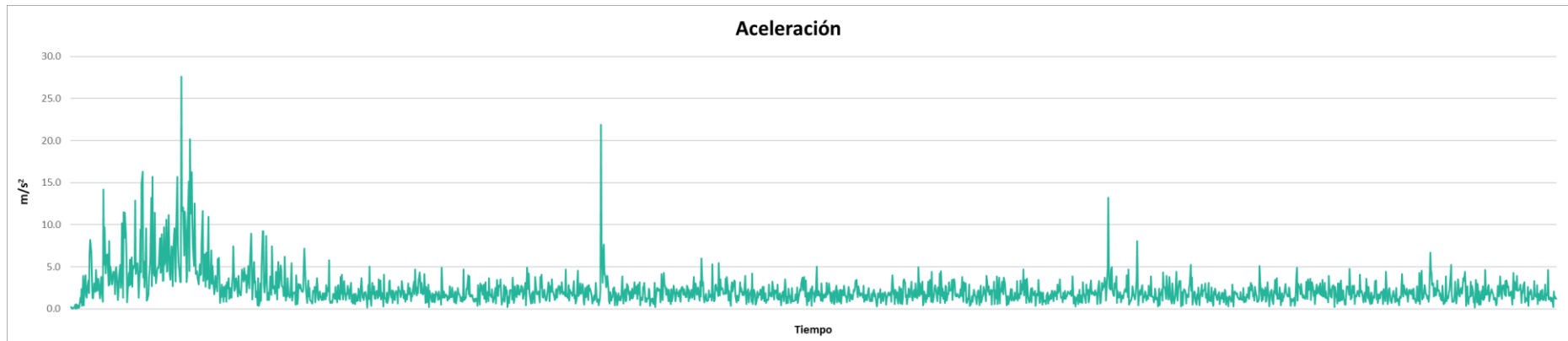


Gráfico 23. Datos sobre la aceleración (módulo) durante un paseo por una zona de tierra

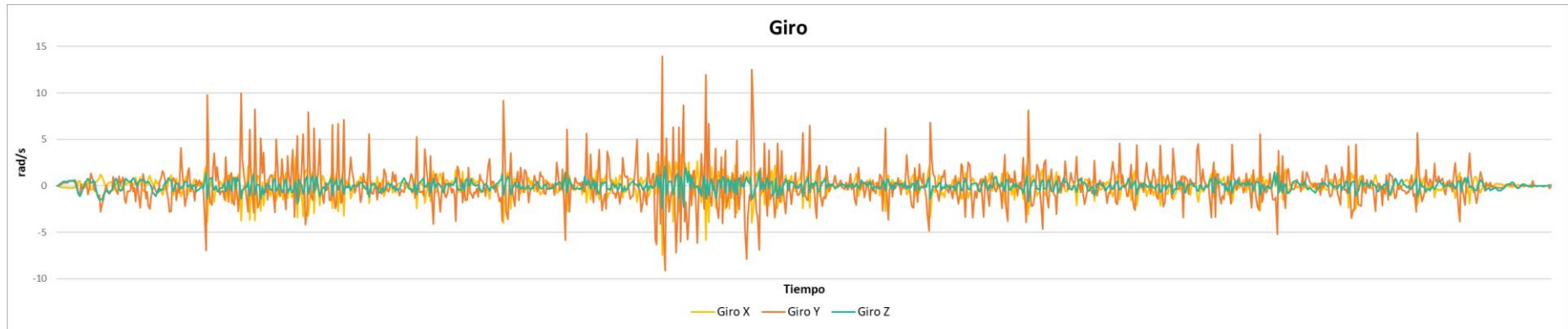


Gráfico 24. Datos sobre el giro (en cada eje) durante un paseo por una zona de grava

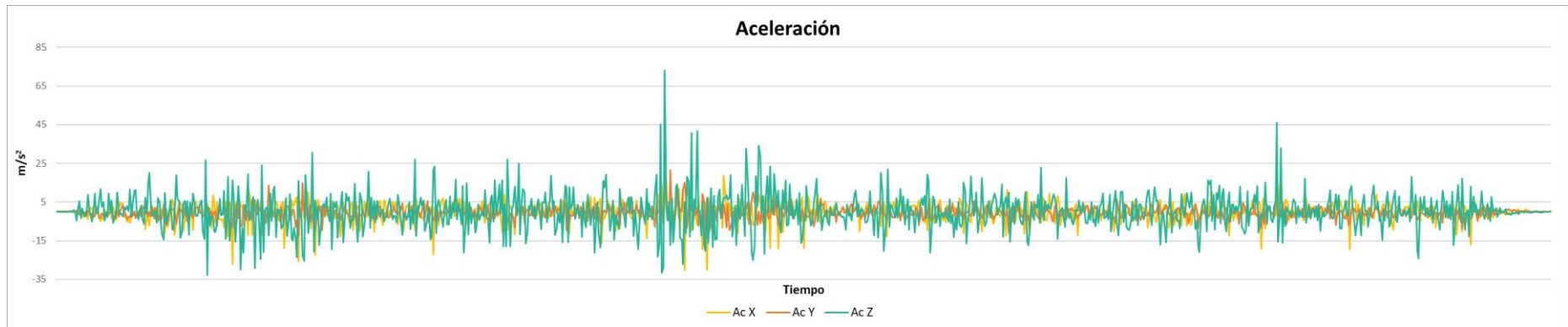


Gráfico 25. Datos sobre la aceleración (en cada eje) durante un paseo por una zona de grava

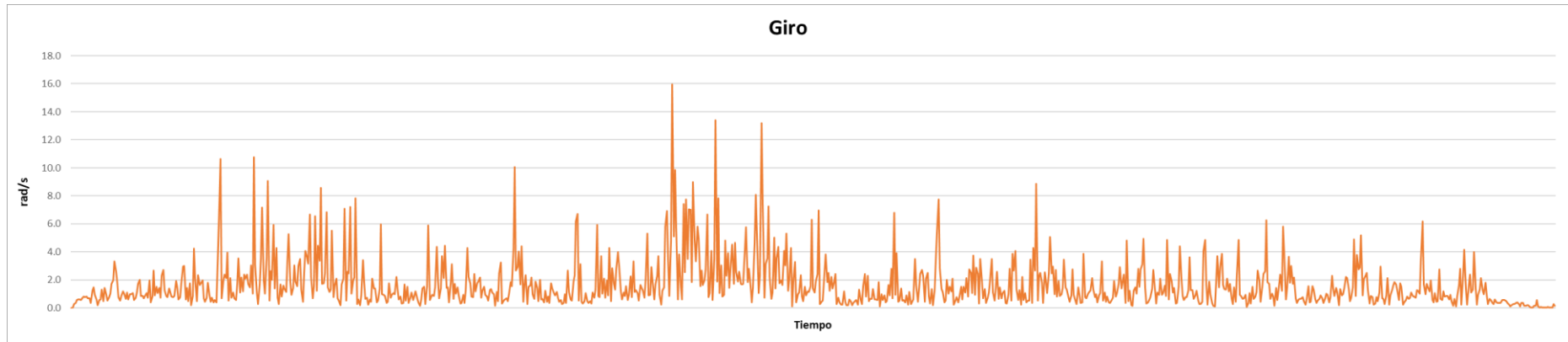


Gráfico 26. Datos sobre el giro (módulo) durante un paseo por una zona de grava

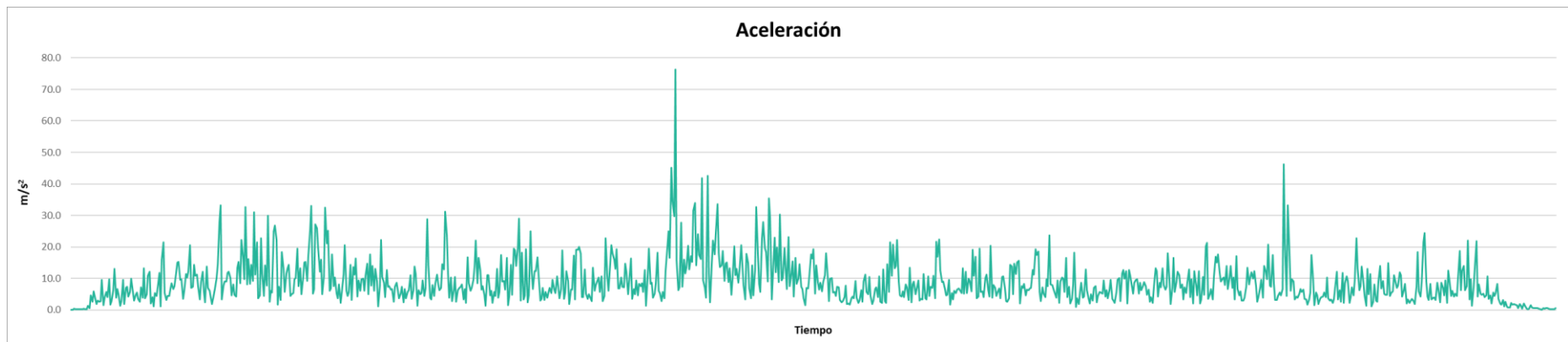


Gráfico 27. Datos sobre la aceleración (módulo) durante un paseo por una zona de grava

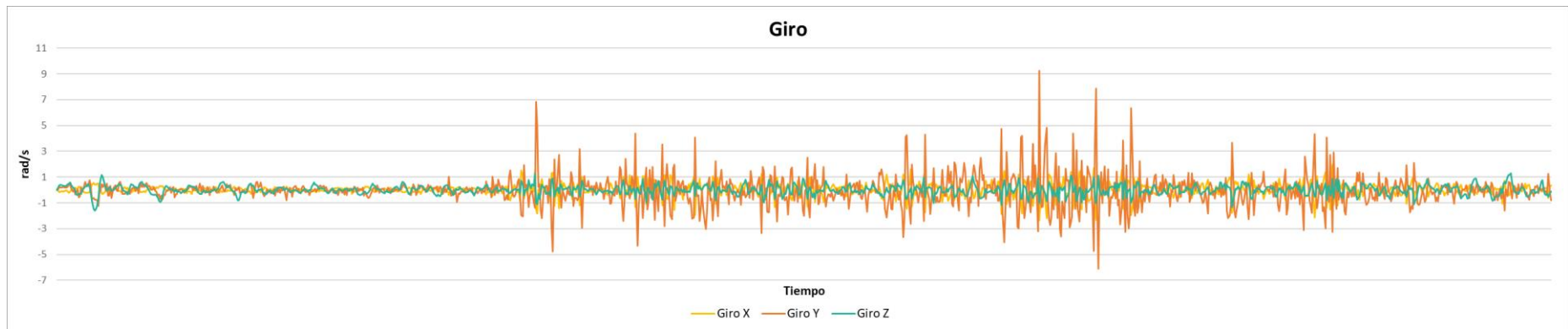


Gráfico 28. Datos sobre el giro (en cada eje) durante un paseo en zona mixta: calle y zona de tierra

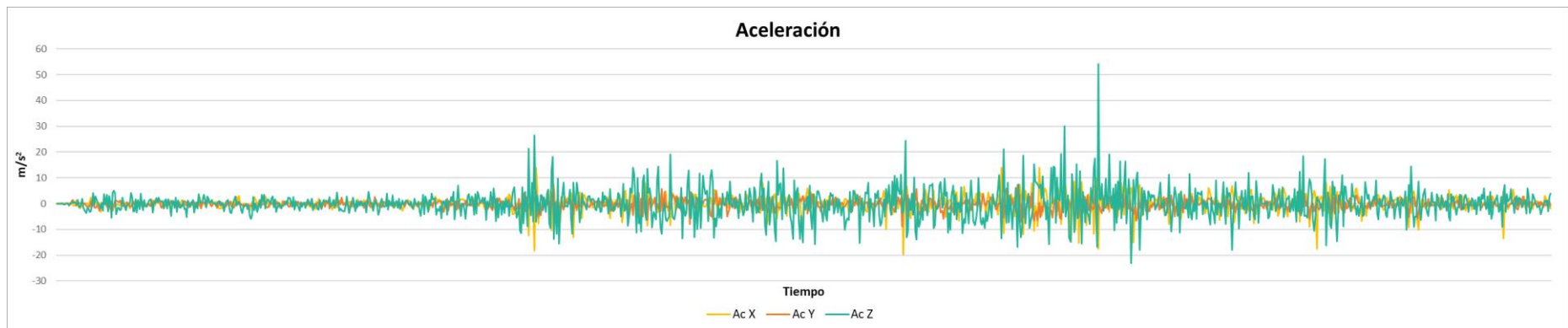


Gráfico 29. Datos sobre la aceleración (en cada eje) durante un paseo en zona mixta: calle y zona de tierra

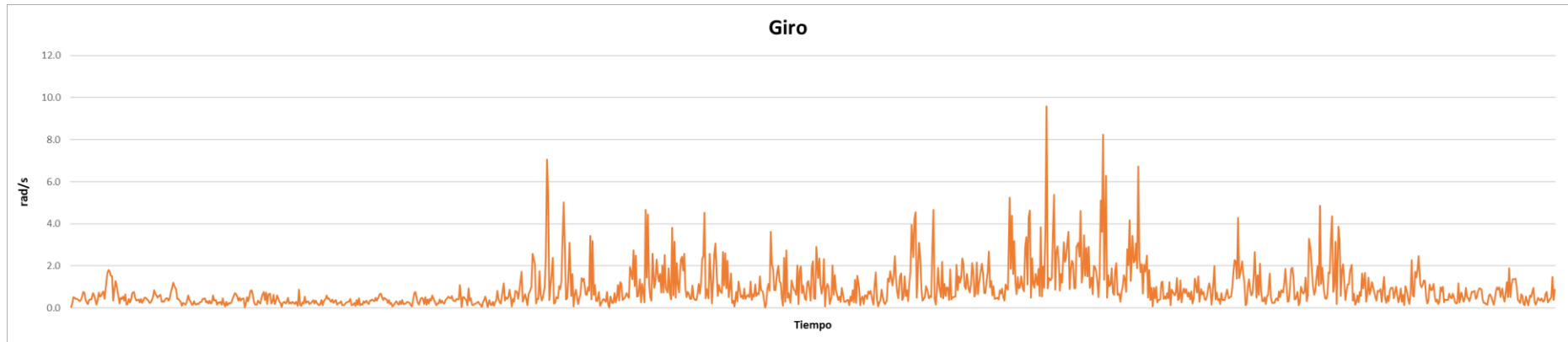


Gráfico 30. Datos sobre el giro (módulo) durante un paseo en zona mixta: calle y zona de tierra

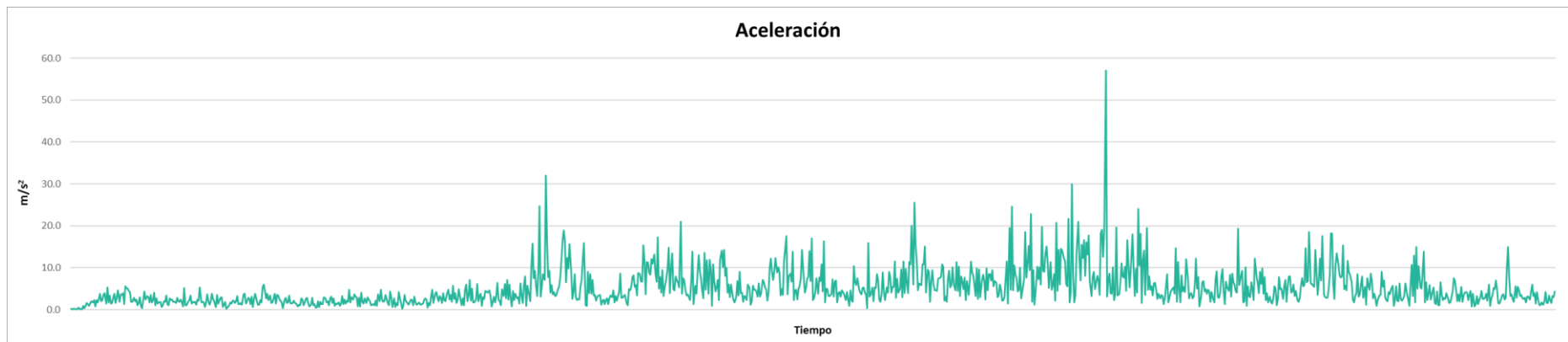


Gráfico 31. Datos sobre la aceleración (módulo) durante un paseo en zona mixta: calle y zona de tierra